

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-317464

(43)公開日 平成11年(1999)11月16日

(51)Int.Cl.⁶
H 0 1 L 21/8247
29/788
29/792
27/115

識別記号

F I
H 0 1 L 29/78
27/10

3 7 1
4 3 4

審査請求 未請求 請求項の数19 O.L (全 23 頁)

(21)出願番号 特願平10-325431
(22)出願日 平成10年(1998)11月16日
(31)優先権主張番号 特願平10-49774
(32)優先日 平10(1998)3月2日
(33)優先権主張国 日本 (JP)

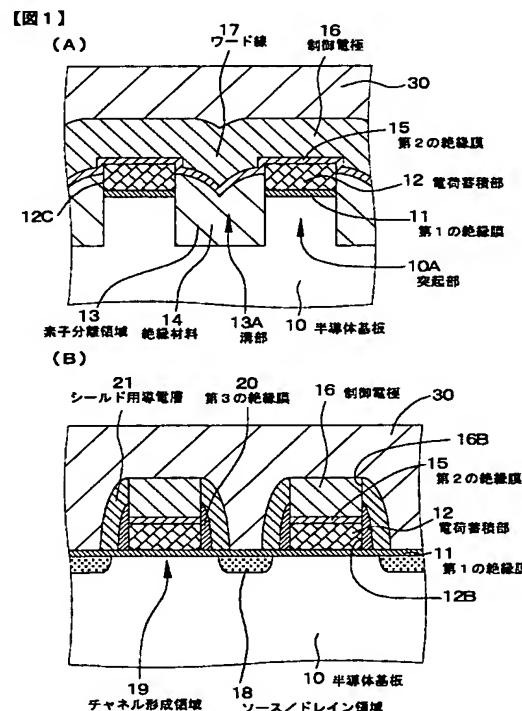
(71)出願人 000002185
ソニー株式会社
東京都品川区北品川6丁目7番35号
(72)発明者 青垣 浩
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
一株式会社内
(72)発明者 寺野 登志夫
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
一株式会社内
(74)代理人 弁理士 山本 孝久

(54)【発明の名称】 電気的書き換え可能なメモリ素子及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】コントロールゲートとフローティングゲートの容量結合比を大きくとることが可能な半導体不揮発性記憶装置の製造方法を提供する。

【解決手段】チャネル形成領域を有する半導体基板10と、チャネル形成領域を素子分離するように半導体基板10に形成された溝に埋め込まれた素子分離絶縁膜21aと、少なくともチャネル形成領域の上層に形成された電荷蓄積層30bと、電荷蓄積層30bの上層に形成された第1コントロールゲート31aと、少なくとも第1コントロールゲート31aの配線方向と直交する方向の電荷蓄積層30bの側壁面と対向するように形成され、第1コントロールゲート31aと同電位に保持された第2コントロールゲート32aと、チャネル形成領域に接続して形成されたソース・ドレイン領域11とを有するメモリトランジスタを有する構成とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 (イ) 半導体基板に形成された、チャネル形成領域及びソース／ドレイン領域と、
 (ロ) 半導体基板に形成され、チャネル形成領域及びソース／ドレイン領域に沿って設けられた素子分離領域と、
 (ハ) チャネル形成領域の上方に、第1の絶縁膜を介して形成された電荷蓄積部と、
 (ニ) 電荷蓄積部の上方に、第2の絶縁膜を介して形成された制御電極と、
 (ホ) 制御電極から延在し、素子分離領域上に位置するワード線と、
 (ヘ) 制御電極及びワード線の延びる方向と平行な電荷蓄積部の側壁面上に第3の絶縁膜を介して形成され、制御電極と同電位に保持されたシールド用導電層、から成ることを特徴とする電気的書き換えが可能なメモリ素子。

【請求項2】 制御電極とシールド用導電層とは電気的に接続されていることを特徴とする請求項1に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子。

【請求項3】 第3の絶縁膜は電荷蓄積部の側壁面及び制御電極の側壁面の一部を被覆し、シールド用導電層は第3の絶縁膜で被覆されていない制御電極の側壁面まで延在し、以て、制御電極とシールド用導電層とが接続されていることを特徴とする請求項2に記載の電気的書き換

$$V_{tn} = \{ (C_1 + C_2) / (C_1 + C_2 + C_{tun}) \} \times V_{cg} \quad (1)$$

【請求項9】 (イ) 半導体基板に形成された、チャネル形成領域及びソース／ドレイン領域と、
 (ロ) 半導体基板に形成され、チャネル形成領域及びソース／ドレイン領域に沿って設けられた素子分離領域と、

(ハ) 少なくともチャネル形成領域の上方に、第1の絶縁膜を介して形成された電荷蓄積部と、

(ニ) 電荷蓄積部の上方に、第2の絶縁膜を介して形成された制御電極と、

(ホ) 制御電極から延在し、素子分離領域上に位置するワード線と、

(ヘ) 制御電極及びワード線の延びる方向と平行な電荷蓄積部の側壁面上に第3の絶縁膜を介して形成され、制御電極と同電位に保持されたシールド用導電層、から構成された電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法であって、

(A) 半導体基板表面に第1の絶縁膜を形成した後、該第1の絶縁膜上に第1の材料層を堆積させ、次いで、該第1の材料層をパターニングする工程と、

(B) パターニングされた第1の材料層によって被覆されていない半導体基板の領域に、素子分離領域を形成する工程と、

(C) 全面に第2の絶縁膜を堆積させた後、第2の材料層を該第2の絶縁膜上に堆積させ、次いで、第2の材料

えが可能なメモリ素子。

【請求項4】 第3の絶縁膜は、ソース／ドレイン領域の上方まで延在していることを特徴とする請求項3に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子。

【請求項5】 素子分離領域は、半導体基板に形成された溝部、及び、該溝部を埋める絶縁材料から構成されていることを特徴とする請求項1に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子。

【請求項6】 電荷蓄積部は、導電材料から構成された浮遊電極から成ることを特徴とする電気的書き換えが可能なメモリ素子。

【請求項7】 電荷蓄積部は、絶縁層、及び、該絶縁層中に形成された導電性微小結晶粒子から成ることを特徴とする請求項1に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子。

【請求項8】 制御電極と電荷蓄積部との間の容量値をC₁、シールド用導電層と電荷蓄積部との間の容量値をC₂、電荷蓄積部とチャネル形成領域との間の容量値をC_{tun}とし、制御電極及びシールド用導電層に電位V_{cg}を印加したとき、電荷蓄積部とチャネル形成領域との間に式(1)で表される電位V_{tn}が発生することを特徴とする請求項1に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子。

【数1】

層、第2の絶縁膜及び第1の材料層をパターニングし、以て、第2の材料層から成る制御電極及びワード線、並びに、第1の材料層から成る電荷蓄積部を形成する工程と、

(D) 制御電極及びワード線の延びる方向と平行な電荷蓄積部の側壁面上に第3の絶縁膜を介してシールド用導電層を形成する工程と、

(E) 電荷蓄積部の下方の半導体基板にチャネル形成領域を形成し、併せて、チャネル形成領域から延在する半導体基板の領域にソース／ドレイン領域を形成する工程、から成ることを特徴とする電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項10】 前記工程(B)は、

(B-1) パターニングされた第1の材料層によって被覆されていない半導体基板の領域に溝部を形成する工程と、

(B-2) 全面に絶縁材料を堆積させた後、該絶縁材料をエッチバックし、以て、半導体基板に形成された溝部、及び、該溝部を埋める絶縁材料から構成された素子分離領域を形成し、併せて、第1の材料層が絶縁材料から突出した構造を得る工程、から成ることを特徴とする請求項9に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項11】 前記工程(B-1)は、第1の材料層を

パターニングするためのエッティング用マスクを用いて半導体基板をエッティングする工程から成ることを特徴とする請求項10に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項12】前記工程(D)は、

(D-1) 全面に第3の絶縁膜を堆積させた後、第3の絶縁膜を部分的に除去することによって、電荷蓄積部の側壁面、及び制御電極の側壁面の一部を被覆する第3の絶縁膜を得る工程と、

(D-2) 導電体から成る第3の材料層を全面に堆積させた後、第3の材料層をエッチバックし、以て、第3の絶縁膜で被覆されていない制御電極の側壁面まで延在し、第3の材料層から成り、制御電極と接続されたシールド用導電層を得る工程、から成ることを特徴とする請求項9に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項13】前記工程(D-1)は、全面に第3の絶縁膜を堆積させた後、制御電極の頂面上の第3の絶縁膜を除去し、次いで、第3の絶縁膜をエッチバックする工程から成ることを特徴とする請求項12に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項14】前記工程(D)は、

(D-1) 全面に第3の絶縁膜を堆積させた後、第3の絶縁膜上に第4の材料層を堆積させる工程と、

(D-2) 第4の材料層及び第3の絶縁膜を部分的に除去し、以て、少なくとも制御電極の頂面を露出させる工程と、

(D-3) 第4の材料層を除去する工程と、

(D-4) 導電体から成る第3の材料層を全面に堆積させた後、第3の材料層をエッチバックし、以て、第3の絶縁膜で被覆されていない制御電極の部分まで延在し、第3の材料層から成り、制御電極と接続されたシールド用導電層を得る工程、から成ることを特徴とする請求項9に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項15】前記工程(D-2)において、第4の材料層及び第3の絶縁膜をエッチバックし、以て、電荷蓄積部の側壁面及び制御電極の側壁面の一部を被覆し、且つ、半導体基板の上方まで延在する第3の絶縁膜を得ることを特徴とする請求項14に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項16】前記工程(D-2)と工程(D-3)との間で、露出した制御電極の表面洗浄を行うことを特徴とする請求項14に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項17】第4の材料層はレジスト材料から成ることを特徴とする請求項14に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項18】第1の材料層は導電材料から成り、電荷蓄積部は浮遊電極から構成されることを特徴とする請求

項9に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【請求項19】第1の材料層は、絶縁層、及び、該絶縁層中に形成された導電性微小結晶粒子から成ることを特徴とする請求項9に記載の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電気的書き換えが可能なメモリ素子及びその製造方法に関し、特に、制御電極とチャネル形成領域との間に電荷蓄積部を有する電気的書き換えが可能なメモリ素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】電気的書き換えが可能なメモリ素子(E PROM : Electrically Erasableand Programmable ROM)はDRAM (Dynamic Random Access Memory)などの他のメモリ素子と比較して1ビット当たりの記憶素子の面積を理論上最も小さくできることから、メモリ素子の大容量化が期待されており、特に、フロッピーディスク等の磁気記憶装置の代替手段として検討が活発に行われている。EEPROMとしては、浮遊電極(フローティングゲート)型、MOS型あるいはMONOS型、TEXTURED POLY型など、様々な特徴を有する構造のEEPROMが開発されている。

【0003】EEPROMの一例である浮遊電極型メモリ素子の製造方法の一例を、半導体基板等の模式的な一部断面図である図18～図20を参照して、以下、説明する。

【0004】【工程-10A】先ず、シリコン半導体基板から成る半導体基板110に対して、LOCOS法に基づき酸化シリコンから成る素子分離領域113を形成する。次に、素子分離領域113で分離された半導体基板110の領域にウエル110Bを形成するためにイオン注入を行い、更には、半導体基板110のかかる領域における閾値電圧調整のためのイオン注入を行う。その後、例えば熱酸化法に基づき、半導体基板110の表面にSiO₂から成る第1の絶縁膜(トンネル絶縁膜)111を形成する。この状態を図18の(A)に示す。

【0005】【工程-20A】次に、例えばCVD (Chemical Vapor Deposition) 法に基づき、不純物を含有したポリシリコンから成る第1の材料層112Aを全面に堆積させる(図18の(B)参照)。そして、リソグラフィ技術及びRIE(反応性イオンエッティング)等のドライエッティング技術に基づき、第1の材料層112Aをパターニングする。パターニングされた第1の材料層112Aは帯状の形状である。

【0006】【工程-30A】その後、図19の(A)に示すように、例えばCVD法に基づき、全面(より具体的には、素子分離領域113上及びパターニングされ

た第1の材料層112A上)に第2の絶縁膜115を堆積させ、更に、第2の絶縁膜115上に、例えば不純物を含有するポリシリコンから成る第2の材料層116Aを堆積させる。第2の絶縁膜115は、例えば、ONO膜(シリコン酸化膜/シリコン窒化膜/シリコン酸化膜の積層絶縁膜)から構成することができる。

【0007】次に、リソグラフィ技術及びドライエッチング技術に基づき、第2の材料層116A、第2の絶縁膜115及び第1の材料層112Aをパターニングすることによって、第2の材料層116Aから成る制御電極116及びワード線、並びに、第1の材料層112Aから成る電荷蓄積部112を形成する(図19の(B)参照)。ここで、第2の材料層116Aのエッチングに引き続き、第2の絶縁膜115及び第1の材料層112Aのエッチングを行うことによって、自己整合的に第2の絶縁膜115及び第1の材料層112Aのエッチングを行なうことができる。尚、ワード線は、図19の(B)の紙面垂直方向に、制御電極116から延在して延びている。

【0008】[工程-40A]その後、制御電極116をマスクとして用いたイオン注入を行い、ソース/ドレイン領域118を制御電極116と自己整合的に形成する(図20の(A)参照)。尚、電荷蓄積部112の下方の半導体基板110の領域がチャネル形成領域119に相当する。

【0009】[工程-50A]次に、層間絶縁層120の形成、及び、ソース/ドレイン領域118に達する配線121の形成を行い、図20の(B)に示す構造を有するメモリ素子を得ることができる。

【0010】このような構造を有するメモリ素子は、制御電極116とチャネル形成領域119との間に絶縁膜111、115を介して浮遊電極(フローティングゲート)から成る電荷蓄積部112が設けられた電界効果型トランジスタから構成されている。電荷蓄積部112である浮遊電極は電荷を保持する機能を有し、第1の絶縁膜(トンネル絶縁膜)111及び第2の絶縁膜115は、電荷を電荷蓄積部112に閉じ込める役割を有する。

【0011】電荷蓄積部112に電荷が蓄積されると、この蓄積電荷により電界が発生する結果、メモリ素子の閾値電圧 V_{th} が変化する。例えば、メモリ素子がnチャネル型の場合、電荷蓄積部112に電荷を蓄積することで閾値電圧 V_{th} が正の方向にシフトする。メモリ素子に記憶されたデータを読み出す際には、所定の読み出し電圧を制御電極116に印加する。閾値電圧 V_{th} が正の方向にシフトしている場合、読み出し電圧を制御電極116に印加してもメモリ素子のソース/ドレイン領域118の間にチャネル電流は流れない。一方、電荷蓄積部112に電荷が蓄積されていない場合には、制御電極116に読み出し電圧を印加したとき、メモリ素子のソース/

ドレイン領域118の間にチャネル電流が流れる。このチャネル電流が「流れる」あるいは「流れない」ことを”1”あるいは”0”に対応させて、メモリ素子にデータを記憶することができる。

【0012】上記の構造を有するメモリ素子を集積化すると、図3の(B)に等価回路図に示すNOR型メモリセルを構成することができる。図3の(B)においては、4つのメモリ素子 M_{11} 、 M_{12} 、 M_{21} 、 M_{22} が示されており、ワード線WL₁にメモリ素子 M_{11} 、 M_{21} の制御電極が接続されており、ワード線WL₂にメモリ素子 M_{12} 、 M_{22} の制御電極が接続されている。メモリ素子 M_{11} 、メモリ素子 M_{12} の一方のソース/ドレイン領域はビット線BL₁に接続され、他方のソース/ドレイン領域はソース線SL₁に接続されている。また、メモリ素子 M_{21} 、メモリ素子 M_{22} の一方のソース/ドレイン領域はビット線BL₂に接続され、他方のソース/ドレイン領域はソース線SL₂に接続されている。

【0013】このNOR型メモリセルにおいて、メモリ素子にデータを書き込む場合、例えば、制御電極116に高電位(V_{pp})を印加し、ビット線に例えば0ボルトを印加する。これによって、制御電極116とチャネル形成領域119との間の電位差に基づき、ファウラー・ノルドハイム(Fowler-Nordheim)・トンネル現象によって、チャネル形成領域119から電荷蓄積部112への電子の注入が生じる。以上の結果、メモリ素子の閾値電圧 V_{th} が正の方向にシフトし、データ”0”がメモリ素子に記憶される。

【0014】例えばメモリ素子 M_{11} のデータを読み出す場合には、ワード線WL₁にアクセス(メモリ素子がnチャネル型である場合には正の読み出し電圧を印加)し、ビット線BL₁とソース線SL₁との間を流れる電流の有無を検知して、”0”あるいは”1”的データを判定する。データの消去においては、ファウラー・ノルドハイム・トンネル現象に基づき、電荷蓄積部から半導体基板へと電子を引き抜く。

【0015】一方、上記の構造を有するメモリ素子を直列接続すると、図3の(A)に等価回路図に示すNANDストリング型メモリセルを構成することができる。浮遊電極を有する従来のNANDストリング型メモリセルの模式的な一部断面図を図21に示す。NANDストリング型メモリセルを構成する各メモリ素子M₀～M₇のそれぞれは、例えばp型ウェル110B内に形成されたソース/ドレイン領域118及びチャネル形成領域119、チャネル形成領域119の上方に第1の絶縁膜(トンネル絶縁膜)111を介して形成された電荷蓄積部(浮遊電極、フローティングゲートあるいは電荷蓄積電極とも呼ばれる)112、並びに、電荷蓄積部112の上方に第2の絶縁膜115を介して形成された制御電極116(コントロールゲートあるいは制御ゲートとも呼ばれる)から構成されている。そして、NANDストリ

ング型メモリセルにおいては、メモリ素子の一方のソース／ドレイン領域118を、隣接するメモリ素子の他方のソース／ドレイン領域118と共有化させることによって、複数のメモリ素子が直列接続されている。尚、複数のメモリ素子がこのように直列接続されている形態をメモリ・ストリングと呼ぶ。また、メモリ・ストリングの一端のメモリ素子M₀は、第1の選択トランジスタD_{SG}及びコンタクトホールを介してビット線B_Lに接続されており、メモリ・ストリングの他端のメモリ素子M₇は、第2の選択トランジスタS_{SG}を介して共通ソース線に接続されている。尚、図3の(A)に示すように、複数のNANDストリング型メモリセルが列方向に配設され、制御電極116は、行方向に配設されたワード線と一緒に形成されている。ここで、参照番号110はp型シリコン半導体基板を示し、参照番号110Aはn型ウエルを示す。尚、1つのNANDストリング型メモリセルを構成するメモリ素子の個数は8個に限定されない。

【0016】従来のNANDストリング型メモリセルにおけるメモリ素子へのデータ書き込み動作の概要を、以下、説明する。

【0017】NANDストリング型メモリセルにおいて、データは、ビット線B_Lから最も離れた位置に位置するメモリ素子M₇から順に書き込まれる。データ書き込み動作においては、データを書き込むべきメモリ素子（以下、便宜上、選択メモリ素子と呼ぶ）の制御電極116に高電位V_{PP}（例えば約20ボルト）を印加する。かかるメモリ素子以外のメモリ素子（以下、便宜上、非選択メモリ素子と呼ぶ）の制御電極116にはプログラム禁止電位（パス電圧とも呼ばれる）である中間電位V_{PPm}（例えば約10ボルト）を印加する。一方、ビット線B_Lに、例えば0ボルトを印加する。そして、第1の選択トランジスタD_{SG}を導通させ、第2の選択トランジスタS_{SG}を非導通状態にすると、ビット線B_Lの電位はメモリ素子のソース／ドレイン領域118へと転送される。そして、選択メモリ素子においては、制御電極116とチャネル形成領域119との間の電位差に基づき、ファウラー・ノルドハイム・トンネル現象によって、チャネル形成領域119から電荷蓄積部112への電子の注入が生じる。その結果、選択メモリ素子の閾値電圧V_{th}が当初の負から正方向にシフトし、データが選択メモリ素子に書き込まれる。一方、非選択メモリ素子においては、制御電極116とチャネル形成領域119との間には大きな電位差が生ぜず、チャネル形成領域119から電荷蓄積部112への電子の注入は生じない。その結果、非選択メモリ素子の閾値電圧は当初の値から変化せず、当初のデータが非選択メモリ素子に保持される。各メモリ素子の閾値電圧V_{th}の分布を図22に模式的に示す。

【0018】ワード線は他のNANDストリング型メモ

リセルと共に通化されている。従って、選択メモリ素子の制御電極116に接続されたワード線に接続された他のNANDストリング型メモリセルを構成するメモリ・ストリング（以下、このようなメモリ・ストリングを他のメモリ・ストリングと呼ぶ）におけるメモリ素子（以下、このようなメモリ素子を、他の選択メモリ素子と呼ぶ）の制御電極116にも、高電位V_{PP}が印加される。かかる他の選択メモリ素子にデータを書き込んではならない場合には、即ち、かかる他の選択メモリ素子へのデータの書き込みが禁止されている場合には、他のメモリ・ストリングに接続されているビット線B_Lに中間電位V_m（例えば約10ボルト）を印加する。これによつて、他の選択メモリ素子においては、制御電極116とチャネル形成領域119との間には大きな電位差が生ぜず、チャネル形成領域119から電荷蓄積部112への電子の注入が生じない。従つて、他の選択メモリ素子にデータが書き込まれず、当初のデータが保持される。

【0019】データ読み出し動作においては、ビット線B_Lに例えば1.5ボルトを印加し、第1の選択トランジスタD_{SG}及び第2の選択トランジスタS_{SG}のゲート電極に、例えばV_{cc}を印加し、第1の選択トランジスタD_{SG}及び第2の選択トランジスタS_{SG}を導通状態とする。また、非選択メモリ素子の制御電極116にはV_{cc}を印加する。これによつて、非選択メモリ素子は導通状態となる。一方、選択メモリ素子の制御電極116には0ボルトを印加する。選択メモリ素子の閾値電圧V_{th}に依存して、選択メモリ素子は導通状態あるいは非導通状態となる。即ち、選択メモリ素子にデータ「0」が保持されている場合には、選択メモリ素子は非導通状態となり、ビット線B_Lの電位は1.5ボルトを保持する。また、選択メモリ素子にデータ「1」が保持されている場合には、選択メモリ素子は導通状態となり、ビット線B_Lの電位は1.5ボルトよりも低下する。このビット線の電位をビット線制御回路によって検出することにより、選択メモリ素子にデータ「0」あるいは「1」が保持されていることを読み出すことができる。

【0020】NAND型ストリング型メモリセルにおいては、データの消去はブロック単位一括で行われる。データ消去動作においては、ビット線B_L、第1の選択トランジスタD_{SG}及び第2の選択トランジスタS_{SG}のゲート電極、共通ソース線の全てをフローティング状態とし、半導体基板10にV_{erase}（例えば20ボルト）を印加し、選択ブロックのワード線電位を0ボルトとする。また、非選択ブロックのワード線をフローティング状態とする。これによつて、選択ブロックにおいては、電荷蓄積部112からの電子の引き抜きによりデータが消去される。

【0021】このようなメモリ素子において、LOCOS構造を有する素子分離領域を形成すると、バーズベックの存在によって素子分離幅が広くなり、また、分離耐

圧が低下するという問題が生じる場合がある。このような場合には、電荷蓄積部と素子分離領域の合わせを自己整合的に行うSA-STI (Self-Align Shallow Trench Isolation) 法によって形成された素子分離領域を採用することが好ましく、これによって、セル面積を一層縮小することが可能となる。このようなSA-STI法が、例えば、特開平8-17948号公報に開示されている。

【0022】SA-STI法に基づくメモリ素子 (SA-STI構造を有するメモリ素子と呼ぶ) の模式的な一部断面図を図23の(A)及び(B)に示し、模式的な配置図を図24に示す。尚、図23の(A)は図24の矢印A-Aに沿った模式的な一部断面図であり、図23の(B)は図24の矢印B-Bに沿った模式的な一部断面図である。トレンチ型の素子分離領域13で分離された半導体基板10の活性領域(半導体基板10の突起部10A)と、制御電極16とが重複する領域には、不純物を含有するポリシリコンから成る電荷蓄積部12が形成されている。電荷蓄積部12と半導体基板10との間には、例えばSiO₂から成る第1の絶縁膜(トンネル絶縁膜)11が形成されている。一方、電荷蓄積部12と制御電極16との間には、ONO膜から成る第2の絶縁膜15が形成されている。また、制御電極16の両側の半導体基板10の領域にはソース/ドレイン領域18が形成されており、電荷蓄積部12の下方の半導体基板10はチャネル形成領域19に相当する。制御電極16からワード線17が延在する。制御電極16及びワード線17は、例えば不純物を含有するポリシリコンから構成され、一体的に形成されている。尚、制御電極16の上方には、層間絶縁層30を介してピット線(図示せず)が、ワード線17と例えれば直交する方向に配線されており、ピットコンタクト部(図示せず)において一方のソース/ドレイン領域18と接続されている。メモリ素子の一方のソース/ドレイン領域18を、隣接するメモリ素子の他方のソース/ドレイン領域18と共有化させることによって、複数のメモリ素子が直列接続され、NANDストリング型メモリセルが構成される。トレンチ型の素子分離領域13は、半導体基板10に形成された溝部13Aと、溝部13Aを埋める絶縁材料14から構成されている。

【0023】このようなSA-STI構造を有するメモリ素子においても、電荷蓄積部12における電荷蓄積の有無によってメモリ素子の閾値電圧V_{th}が変化し、この閾値電圧V_{th}の変化により記憶されたデータの判別を行うことができる。また、理論的には、最小のセル面積を4F²(ここでFはminimum feature size)とすることができますので、セル面積を縮小し、メモリセルの大容量化、チップコスト、ビットコストの低減を図ることが可能である。

【0024】以下、SA-STI構造を有するメモリ素

子の製造方法の概要を、半導体基板等の模式的な一部断面図である図4～図10及び図25を参照して説明する。尚、従来のSA-STI構造を有するメモリ素子の製造方法は、本発明のメモリ素子の製造方法と相当の工程で一致している。それ故、本発明のメモリ素子の製造方法を説明する半導体基板等の模式的な一部断面図等

(図4～図10)を参照して、従来のSA-STI構造を有するメモリ素子の製造方法を説明し、本発明のメモリ素子の製造方法と異なる工程に関してのみ、図25を参照して説明する。尚、特に断りの無い限り、図24の矢印A-Aに沿ったと同様の半導体基板等の模式的な一部断面図に基づき、従来のSA-STI構造を有するメモリ素子の製造方法を説明する。

【0025】[工程-10B]先ず、シリコン半導体基板から成る半導体基板10に、周辺素子を形成すべき領域とメモリ素子を形成すべき領域とを分離するためにLOCOS構造を有する素子分離ゾーン(図示せず)を形成する。そして、メモリ素子を形成すべき半導体基板10の領域にウエル(図示せず)を形成するためのイオン注入を行い、更には、メモリ素子を形成すべき半導体基板10の領域における閾値電圧調整のためのイオン注入を行う。その後、例えれば熱酸化法により、厚さ7～8nm程度のSiO₂から成る第1の絶縁膜(トンネル絶縁膜)11を半導体基板10の表面に形成する。次いで、第1の絶縁膜11の上に、例えればCVD法に基づき、不純物を含有するポリシリコンから成る厚さ0.25μm乃至0.30μmの第1の材料層12Aを堆積させる。この状態を図4の(A)に示す。

【0026】次に、第1の材料層12A上にレジスト材料から成るエッチング用マスク40をリソグラフィ技術に基づき形成し、かかるエッチング用マスク40を用いて、例えればRIE法により第1の材料層12Aをパターニングする。この状態を図4の(B)に示すが、パターニングされた第1の材料層12Aは、図4の(B)の紙面垂直方向に延びている。

【0027】[工程-20B]次に、図5の(A)に示すように、エッチング用マスク40を用いて、例えればRIE法に基づきエッチングを引き続き行い、半導体基板10に溝部13Aを自己整合的に形成する。これによつて、パターニングされた第1の材料層12Aの下方には、半導体基板10の突起部10Aが残される。

【0028】次いで、エッチング用マスク40を除去し、例えればCVD法あるいはバイアスECR(バイアス印加型Electron Cyclotron ResonanceプラズマCVD)法に基づき、トレンチ状の溝部13A内を含む全面にSiO₂から成る厚さ0.7～1μmの絶縁材料14を堆積させる(図5の(B)参照)。

【0029】その後、例えればRIE法に基づき絶縁材料14をエッチバックする。こうして、トレンチ状の溝部13Aに絶縁材料14が埋め込まれたトレンチ型の素子

分離領域13を、パターニングされた第1の材料層12Aの間の半導体基板10の領域に自己整合的に形成することができる(図6の(A)及び(B)参照)。また、この状態における模式的な配置図を図7に示す。尚、図6の(A)は、図7の矢印A-Aに沿った半導体基板等の模式的な一部断面図であり、図6の(B)は、図7の矢印B-Bに沿った半導体基板等の模式的な一部断面図である。尚、図8の(A)、図9の(A)及び図10の(A)は、図7の矢印A-Aに沿ったと同様の半導体基板等の模式的な一部断面図であり、図8の(B)、図9の(B)及び図10の(B)は、図7の矢印B-Bに沿ったと同様の半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【0030】【工程-30B】次に、図8に示すように、例えばCVD法あるいは熱酸化法により、例えばONO膜(酸化膜/窒化膜/酸化膜の積層絶縁膜)から成る第2の絶縁膜15を全面に堆積させる。

【0031】【工程-40B】その後、全面に、例えばCVD法に基づき、不純物を含有するポリシリコンから成る厚さ0.3~0.4μmの第2の材料層16Aを堆積させる。この状態を図9の(A)及び(B)に示す。次に、リソグラフィ技術及びドライエッチング技術に基づき、第2の材料層16A、第2の絶縁膜15及び第1の材料層12Aをパターニングする。こうして、第2の材料層16Aから成る制御電極16及びワード線17、並びに、第1の材料層12Aから成る電荷蓄積部12を形成することができる。この状態を図10の(A)及び(B)に示す。尚、電荷蓄積部12が、制御電極16と半導体基板10の突起部10Aとの重複領域に残され、個々のメモリ素子毎に分離された形状となる。

【0032】【工程-50B】次に、制御電極16をマスクとして用いて、不純物を例えば $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ のドーズ量で半導体基板10の露出した突起部10Aにイオン注入する。これによって、制御電極16の両側の半導体基板10の突起部10Aの一部分にソース/ドレイン領域18を自己整合的に形成することができる(図25参照)。その後、例えばCVD法によりPSGあるいはBPSG等から成る層間絶縁層30を形成し、図23及び図24に示したメモリ素子を得ることができる。以降の工程としては、例えば、ソース/ドレイン領域18の上方の層間絶縁層30に開口部を形成し、かかる開口部内を含む層間絶縁層30上に配線材料層を堆積させ、配線材料層をパターニングすることによってピット線を設ける。更に、周回路の形成等により所望のメモリセルを完成させる。

【0033】

【発明が解決しようとする課題】ところで、浮遊電極型のメモリ素子にあっては、電荷蓄積部とチャネル形成領域との間に、例えばファウラー・ノルドハイム・トンネル電流を発生させることによって、メモリ素子へのデー

タの書き込み、あるいはデータの消去を行う。それ故、制御電極に電位を印加し、電荷蓄積部とチャネル形成領域との間に大きな電位差を生成させる必要がある。ところで、電荷蓄積部とチャネル形成領域との間の電位差は、制御電極と電荷蓄積部との間の容量結合と、電荷蓄積部とチャネル形成領域との間の容量結合の比によって決まる。然るに、浮遊電極型のメモリ素子においては、セル面積の縮小化に伴い、十分な値の容量結合比を確保することが困難となってきている。

【0034】容量結合比が小さい場合、メモリ素子へのデータの書き込みの際に、制御電極に印加すべき電位を一層高くする必要がある。従って、電源電圧から動作電圧(制御電極に印加すべき電位)にまで昇圧させるための昇圧回路の面積が増大する結果、メモリ素子の製造コストの上昇を招くばかりか、昇圧時間が延長し、メモリ素子の動作速度の低下の原因となる。メモリ素子の微細化が進むほど、容量結合比を大きくする必要が益々高くなり、如何に容量結合比を大きくするかが、重要な技術的課題となっている。

【0035】殊に、従来のSA-STI構造を有するメモリ素子においては、十分な容量結合比を得るために電荷蓄積部12の厚さを厚くし、電荷蓄積部12と対向する制御電極16の面積を増大させる、即ち、電荷蓄積部12の側壁にまで制御電極16が延びる構造とする必要がある(図23の(A)参照)。しかしながら、電荷蓄積部12の厚膜化(即ち、第1の材料層12Aの厚膜化)は、【工程-40B】における第1の材料層12Aのパターニングを困難なものにさせる。

【0036】更に、第1の材料層12Aの厚膜化は、【工程-20B】において、トレンチ状の溝部13A内を含む全面にSiO₂から成る絶縁材料14を堆積させる際の溝部13Aのアスペクト比の増加を招き、トレンチ型の素子分離領域の形成を一層困難なものにさせる。

【0037】また、電荷蓄積部12の厚膜化は、電荷蓄積部12とソース/ドレイン領域18の容量結合に起因した容量結合比の低下を引き起こし、電荷蓄積部12とチャネル形成領域19との間に実効的に生成する電位差が減少するため、データ書き込み時に制御電極16に印加すべき電位の低電位化を妨げる要因となる。

【0038】従って、本発明は、容量結合比を増大させ、しかも、ソース/ドレイン領域と電荷蓄積部との間の容量結合による容量結合比の低下を防止し、これにより、データ書き込み時に制御電極に印加すべき電位の低下、昇圧時間の短縮化、製造コストの低減、メモリ素子の高集積化、微細化を可能とする電気的書き換えが可能なメモリ素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0039】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するための本発明の電気的書き換えが可能なメモリ素子は、

(イ) 半導体基板に形成された、チャネル形成領域及びソース／ドレイン領域と、(ロ) 半導体基板に形成され、チャネル形成領域及びソース／ドレイン領域に沿って設けられた素子分離領域と、(ハ) チャネル形成領域の上方に、第1の絶縁膜を介して形成された電荷蓄積部と、(ニ) 電荷蓄積部の上方に、第2の絶縁膜を介して形成された制御電極と、(ホ) 制御電極から延在し、素子分離領域上に位置するワード線と、(ヘ) 制御電極及びワード線の延びる方向と平行な電荷蓄積部の側壁面上に第3の絶縁膜を介して形成され、制御電極と同電位に保持されたシールド用導電層、から成ることを特徴とする。

【0040】制御電極とシールド用導電層とを同電位に保持するために、制御電極の電位を制御するための制御回路とシールド用導電層の電位を制御するための制御回路とを個別に設けてもよいが、回路構成の簡素化の観点からは、制御電極とシールド用導電層とを電気的に接続することが望ましい。この場合、第3の絶縁膜が電荷蓄積部の側壁面及び制御電極の側壁面の一部を被覆し、シールド用導電層が第3の絶縁膜で被覆されていない制御電極の側壁面まで延在し、以て、制御電極とシールド用

$$V_{tn} = \{ (C_1 + C_2) / (C_1 + C_2 + C_{tun}) \} \times V_{cg} \quad (1)$$

【0044】上記の目的を達成するための本発明の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法は、(イ) 半導体基板に形成された、チャネル形成領域及びソース／ドレイン領域と、(ロ) 半導体基板に形成され、チャネル形成領域及びソース／ドレイン領域に沿って設けられた素子分離領域と、(ハ) 少なくともチャネル形成領域の上方に、第1の絶縁膜を介して形成された電荷蓄積部と、(ニ) 電荷蓄積部の上方に、第2の絶縁膜を介して形成された制御電極と、(ホ) 制御電極から延在し、素子分離領域上に位置するワード線と、(ヘ) 制御電極及びワード線の延びる方向と平行な電荷蓄積部の側壁面上に第3の絶縁膜を介して形成され、制御電極と同電位に保持されたシールド用導電層、から構成された電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法であって、(A) 半導体基板表面に第1の絶縁膜を形成した後、該第1の絶縁膜上に第1の材料層を堆積させ、次いで、該第1の材料層をパターニングする工程と、(B) パターニングされた第1の材料層によって被覆されていない半導体基板の領域に、素子分離領域を形成する工程と、(C) 全面に第2の絶縁膜を堆積させた後、第2の材料層を該第2の絶縁膜上に堆積させ、次いで、第2の材料層、第2の絶縁膜及び第1の材料層をパターニングし、以て、第2の材料層から成る制御電極及びワード線、並びに、第1の材料層から成る電荷蓄積部を形成する工程と、(D) 制御電極及びワード線の延びる方向と平行な電荷蓄積部の側壁面上に第3の絶縁膜を介してシールド用導電層を形成する工程と、(E) 電荷蓄積部の下方の半導体基板にチャネル形成領域を形成し、併せて、チャネル

導電層とが接続されている構成とすることが望ましい。更には、第3の絶縁膜はソース／ドレイン領域の上方まで延在していることが望ましい。

【0041】素子分離領域は、LOCOS構造あるいはトレンチ構造を有していてもよいが、セル面積を一層縮小するといった観点からは、トレンチ型の素子分離領域、即ち、半導体基板に形成された溝部、及び該溝部を埋める絶縁材料から構成されていることが好ましく、更には、SASTI法に基づくトレンチ型の素子分離領域とすることが一層好ましい。

【0042】本発明の電気的書き換えが可能なメモリ素子においては、制御電極及びシールド用導電層に電位 V_{cg} を印加したとき、電荷蓄積部とチャネル形成領域との間に式(1)で表される電位 V_{tn} が発生する。尚、 C_1 、 C_2 及び C_{tun} は、それぞれ、制御電極と電荷蓄積部との間の容量値、シールド用導電層と電荷蓄積部との間の容量値、及び電荷蓄積部とチャネル形成領域との間の容量値である。

【0043】

【数2】

20

形成領域から延在する半導体基板の領域にソース／ドレイン領域を形成する工程、から成ることを特徴とする。

【0045】本発明の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法においては、前記工程(B)は、LOCOS法に基づき形成することもできるが、SASTI法に基づくことが、セル面積を一層縮小するといった観点から好ましい。即ち、(B-1) パターニングされた第1の材料層によって被覆されていない半導体基板の領域に溝部を形成する工程と、(B-2) 全面に絶縁材料を堆積させた後、該絶縁材料をエッチバックし、以て、半導体基板に形成された溝部、及び、該溝部を埋める絶縁材料から構成された素子分離領域を形成し、併せて、第1の材料層が絶縁材料から突出した構造を得る工程から成ることが好ましい。この場合、工程(B-1)は、第1の材料層をパターニングするためのエッティング用マスクを用いて半導体基板をエッティングする工程、即ち、パターニングされた第1の材料層に対して半導体基板を自己整合的にエッティングする工程から成ることが望ましい。

30

【0046】一方、前記工程(D)は、(D-1) 全面に第3の絶縁膜を堆積させた後、第3の絶縁膜を部分的に除去することによって、電荷蓄積部の側壁面、及び制御電極の側壁面の一部を被覆する第3の絶縁膜を得る工程と、(D-2) 導電体から成る第3の材料層を全面に堆積させた後、第3の材料層をエッチバックし、以て、第3の絶縁膜で被覆されていない制御電極の側壁面まで延在し、第3の材料層から成り、制御電極と接続されたシールド用導電層を得る工程から成ることが好ましい。

40

この場合、工程(D-1)は、全面に第3の絶縁膜を堆

50

積させた後、制御電極の頂面上の第3の絶縁膜を除去し、次いで、第3の絶縁膜をエッチバックする工程から成ることが望ましい。制御電極の頂面上の第3の絶縁膜を除去する方法として、化学的機械的研磨法(CMP)法を挙げることができる。

【0047】あるいは又、前記工程(D)は、(D-1)全面に第3の絶縁膜を堆積させた後、第3の絶縁膜上に第4の材料層を堆積させる工程と、(D-2)第4の材料層及び第3の絶縁膜を部分的に除去し、以て、少なくとも制御電極の頂面を露出させる工程と、(D-3)第4の材料層を除去する工程と、(D-4)導電体から成る第3の材料層を全面に堆積させた後、第3の材料層をエッチバックし、以て、第3の絶縁膜で被覆されていない制御電極の部分まで延在し、第3の材料層から成り、制御電極と接続されたシールド用導電層を得る工程から成ることが好ましい。この場合、工程(D-2)において、第4の材料層及び第3の絶縁膜をエッチバックし、以て、電荷蓄積部の側壁面及び制御電極の側壁面の一部を被覆し、且つ、半導体基板の上方まで延在する第3の絶縁膜を得ることが望ましい。また、工程(D-2)と工程(D-3)との間で、露出した制御電極の表面に存在する自然酸化膜を除去するために、露出した制御電極の表面洗浄を行うことが望ましい。尚、工程(D-3)において第4の材料層を除去すると第3の絶縁膜が除去されないように、第4の材料層を構成する材料を選択する必要があり、例えば、第4の材料層を構成する材料としてレジスト材料を挙げができる。第3の絶縁膜／第4の材料層を構成する材料の組合せとして、SiO₂／レジスト材料、SiN／レジスト材料、SiO₂／SiN、SiN／SiO₂を例示することができる。

【0048】本発明の電気的書き換えが可能なメモリ素子及びその製造方法においては、半導体基板として、シリコン半導体基板、ウエルが形成されたシリコン半導体基板を挙げができる。メモリ素子をnチャネル型とする場合、p型シリコン半導体基板半導体基板、p型ウエルが形成されたn型シリコン半導体基板、n型ウエルが形成され、且つp型ウエルがかかるn型ウエル内に形成されたp型シリコン半導体基板を用いることが好ましい。メモリ素子の全てが1つのp型ウエル内に形成されていてもよいし、複数のp型ウエル内に複数のメモリ素子を形成してもよい。

【0049】第1の絶縁膜(トンネル絶縁膜)は、半導体基板の表面を例えれば熱酸化処理、あるいは熱酸化処理及び窒化処理することによって形成することができ、SiO₂、SiO₂／SiN、SiON、SiO₂／SiON等から構成することができる。第2の絶縁膜は、ONO膜、ON膜、SiO₂膜、SiN膜、SiON膜等から構成することができる。第3の絶縁膜も、ONO膜、ON膜、SiO₂膜、SiN膜、SiON膜等から構成

することができる。溝部を埋める絶縁材料として、SiO₂、SiN、SiONを例示することができる。

【0050】制御電極及びワード線(あるいは第2の材料層)は、例えば、不純物を含有するポリシリコン層、不純物を含有するポリシリコン層とタンゲステンシリサイド等のシリサイド層の積層構造(ポリサイド構造)、タンゲステン等の高融点金属材料層や、シリサイド層から構成することができる。シールド用導電層(あるいは第3の材料層)も、例えば、不純物を含有するポリシリコン層、タンゲステン等の高融点金属材料層や、シリサイド層から構成することができる。

【0051】メモリ素子を浮遊電極型メモリ素子とする場合、即ち、電荷蓄積部を、導電材料から構成された浮遊電極から構成する場合、導電材料(あるいは第1の材料層を構成する導電材料)として、不純物を含有するポリシリコンを挙げができる。

【0052】メモリ素子をナノクリスタル型メモリ素子とする場合、即ち、電荷蓄積部(あるいは第1の材料層)を、絶縁層及び該絶縁層中に形成された導電性微小結晶粒子から構成する場合、導電性微小結晶粒子をシリコンやゲルマニウムから構成することができ、絶縁層をONO膜、ON膜、SiO₂膜、SiN膜、SiON膜等から構成することができる。導電性微小結晶粒子は第1の絶縁膜上に形成されていてもよいし、絶縁層中に点在していてもよい。

【0053】本発明のメモリ素子が複数集積された不揮発性半導体メモリセルの構造として、EEPROMの一種であるNOR型、NANDストリング型メモリセル、DINOR型やAND型を挙げができる。

【0054】NANDストリング型メモリセルの場合、不揮発性半導体メモリセルは、複数のメモリ素子が直列接続されたNANDストリング、NANDストリングの一端のメモリ素子に接続された第1の選択トランジスタ、及びNANDストリングの他端のメモリ素子に接続された第2の選択トランジスタから構成され、NANDストリングの一端のメモリ素子の一方のソース／ドレン領域は、第1の選択トランジスタを介してビット線に接続されており、NANDストリングの他端のメモリ素子の他方のソース／ドレン領域は、第2の選択トランジスタを介して共通ソース線に接続されている。尚、第1の選択トランジスタ及び第2の選択トランジスタは、例えば、通常のnチャネル型MOSFETから構成することができる。

【0055】本発明においては、制御電極及びワード線の延びる方向と平行な電荷蓄積部の側壁面上に第3の絶縁膜を介して形成され、制御電極と同電位に保持されたシールド用導電層が形成されている。それ故、制御電極と電荷蓄積部との間の容量結合のみならず、シールド用導電層と電荷蓄積部との間の容量結合が得られるので、容量結合比を従来より大きくすることができる。しか

も、シールド用導電層が存在するので、電荷蓄積部とソース／ドレイン領域の容量結合に起因した容量結合比の低下を防止することができる。その結果、動作電圧及び電源電圧を低下させることができるとなり、昇圧回路の面積増加や昇圧時間の延長を抑制することができるばかりか、メモリ素子の高集積化、微細化が可能となる。しかも、従来の技術と異なり、十分な容量結合比を得るために電荷蓄積部12の厚さを厚くする必要が無くなり、従来のメモリ素子の製造プロセスにおける問題点を確実に解決することが可能となる。

【0056】本発明の電気的書き換えが可能なメモリ素子においては、制御電極とチャネル形成領域との間に電荷蓄積部を有する電界効果型トランジスタが構成される。制御電極、半導体基板あるいはソース／ドレイン領域等に適切な電位を印加すると、ファウラー・ノルドハイム・トンネル電流が生じ、電荷蓄積部へ電荷が注入され、あるいは電荷蓄積部から半導体基板へ電荷が放出される。このように電荷蓄積部に電荷が蓄積されると、この蓄積電荷による電界が発生するため、メモリ素子の閾値電圧 V_{th} が変化する。この閾値電圧 V_{th} の変化により記憶されたデータの判別が可能となる。

【0057】本発明において、SA-STI法に基づき素子分離領域を形成すれば、LOCOS法にて素子分離領域を形成した場合と比較して、セル面積を縮小することが可能となる。

【0058】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、発明の実施の形態（以下、実施の形態と略称する）に基づき本発明を説明する。

【0059】（実施の形態1）実施の形態1のメモリ素子は、SA-STI法に基づくメモリ素子（SA-STI構造を有するメモリ素子）であり、所謂、浮遊電極型メモリ素子である。実施の形態1のメモリ素子の模式的な一部断面図を図1の（A）及び（B）に示し、模式的な配置図を図2に示す。尚、図1の（A）は図2の矢印A-Aに沿った模式的な一部断面図であり、図1の（B）は図2の矢印B-Bに沿った模式的な一部断面図である。

【0060】実施の形態1のメモリ素子は、従来のSA-STI構造を有するメモリ素子と同様に、チャネル形成領域19及びソース／ドレイン領域18と、素子分離領域13と、電荷蓄積部12と、制御電極16と、制御電極16から延在し、そして素子分離領域13上に位置するワード線17から構成されている。

【0061】チャネル形成領域19及びソース／ドレイン領域18は、半導体基板10（より具体的には、半導体基板10に設けられた突起部10A）に形成されている。尚、ソース／ドレイン領域18は、制御電極16の両側の半導体基板10の領域に形成されており、電荷蓄積部12の下方の半導体基板10がチャネル形成領域1

9に相当する。また、素子分離領域13は、半導体基板10に形成され、チャネル形成領域19及びソース／ドレイン領域18に沿って設けられている。トレンチ型の素子分離領域13は、半導体基板10に形成された溝部13Aと、溝部13Aを埋める絶縁材料14から構成されている。絶縁材料14はSiO₂から成る。

【0062】更には、不純物を含有するポリシリコンから成り、そして浮遊電極から構成された電荷蓄積部12が、チャネル形成領域19の上方に、SiO₂から成る第1の絶縁膜11（トンネル絶縁膜）を介して形成されている。また、制御電極16は、電荷蓄積部12の上方に、ONO膜から成る第2の絶縁膜15を介して形成されている。より具体的には、トレンチ型の素子分離領域13で分離された半導体基板10の活性領域（半導体基板10の突起部10A）と、制御電極16とが重複する領域に、不純物を含有するポリシリコンから成る電荷蓄積部12が形成されている。

【0063】制御電極16及びワード線17は、不純物を含有するポリシリコンから構成され、一体的に形成されている。また、制御電極16は、制御電極16及びワード線17の延びる方向と直交する電荷蓄積部12の側壁面12Cの一部を、第2の絶縁膜15を介して被覆している。これによって、制御電極16と電荷蓄積部12との間の容量結合の増加を図ることができる。

【0064】制御電極16の上方には、アルミニウム等の金属配線材料から成るピット線（図示せず）が、層間絶縁層30を介してワード線17と例えれば直交する方向に配線されており、ピットコントラクト部（図示せず）において一方のソース／ドレイン領域18と接続されている。メモリ素子の一方のソース／ドレイン領域18を、隣接するメモリ素子の他方のソース／ドレイン領域18と共有化されることによって、複数のメモリ素子が直列接続され、NANDストリング型メモリセルが構成される。尚、層間絶縁層を構成する材料として、BPSG、PSG、BSG、AsSG、PbSG、SbSG、NSG、SOG、LTO（Low Temperature Oxide、低温CVD-SiO₂）、HTO（High Temperature Oxide、高温CVD-SiO₂）、SiN、SiON、あるいは、これらの材料の積層構造〔例えばONO膜（SiO₂膜/SiN膜/SiO₂膜）、ON膜（SiO₂膜/SiN膜）〕を挙げることができる。

【0065】実施の形態1のメモリ素子においては、従来のメモリ素子と異なり、制御電極16及びワード線17の延びる方向（図2において、矢印「X」で示す）と平行な電荷蓄積部12の側壁面12B上に、ONO膜から成る第3の絶縁膜20を介して、シールド用導電層21が形成されている。制御電極16とシールド用導電層21とは電気的に接続されている。より具体的には、第3の絶縁膜20が、電荷蓄積部12の側壁面12B及び制御電極16の側壁面16Bの一部を被覆しており、シ

ールド用導電層21が、第3の絶縁膜20で被覆されていない制御電極16の側面16Bまで延在している。これによって、シールド用導電層21は制御電極16と同電位に保持される。シールド用導電層21を設けることによって、制御電極16と電荷蓄積部12との間の容量結合のみならず、シールド用導電層21と電荷蓄積部12との間の容量結合が得られるので、容量結合比を従来より大きくとることができ。しかも、シールド用導電層21が存在するので、電荷蓄積部12とソース／ドレイン領域18の容量結合に起因した容量結合比の低下を防止することができる。

【0066】実施の形態1の浮遊電極型のメモリ素子においては、電荷蓄積部12は電荷を保持する機能を有し、第1の絶縁膜（トンネル絶縁膜）11、第2の絶縁膜15及び第3の絶縁膜20は電荷を電荷蓄積部12に閉じ込める役割を有する。制御電極16及びシールド用導電層21、半導体基板10あるいはソース／ドレイン領域18等に適切な電位を印加すると、ファウラー・ノルドハイム・トンネル電流が生じ、第1の絶縁膜11を通して半導体基板10から電荷蓄積部12へ電荷が注入され、あるいは、電荷蓄積部12から半導体基板10へ電荷が放出される。このように電荷蓄積部12に電荷が蓄積されると、この蓄積電荷による電界が発生するため、メモリ素子の閾値電圧V_{th}が変化する。この閾値電圧V_{th}変化により、記憶されたデータの判別が可能となる。例えば、電荷蓄積部12に電子を蓄積することでデータ”0”的記憶を行い、また、電荷蓄積部12に蓄積した電子を半導体基板10に放出することでデータの消去を行うことができる。これとは逆に、電荷蓄積部12に電子を蓄積することでデータの消去を行い、また、電荷蓄積部12に蓄積した電子を半導体基板10に放出することでデータの書き込みを行う形式としてもよい。

【0067】実施の形態1の浮遊電極型メモリ素子から、例えば、図3の（A）の等価回路図に示すようなNAND型ストリング型メモリセルを構成することができるし、あるいは又、図3の（B）に等価回路を示すように、NOR型メモリセルを構成することもできる。尚、NOR型メモリセルを構成する場合、図1の（B）において図面上、右側と左側にそれぞれ形成された隣接する2つのメモリ素子の間に形成され、隣接するメモリ素子でソース／ドレイン領域18が共有された形態とはせずに、隣接するメモリ素子でソース／ドレイン領域18を共有しない形態とすればよい。

【0068】以下、図1及び図2に示した実施の形態1のメモリ素子の製造方法を、半導体基板等の模式的な一部断面図、図4～図6、図8～図13、及び配置図である図7を参照して、以下、説明する。

【0069】【工程-100】先ず、半導体基板10の表面に第1の絶縁膜11を形成した後、第1の絶縁膜11上に第1の材料層12Aを堆積させ、次いで、第1の

材料層12Aをパターニングする。具体的には、従来の製造方法の【工程-10B】と同様に、シリコン半導体基板から成る半導体基板10に、周辺素子を形成すべき領域とメモリ素子を形成すべき領域とを分離するためにLOCOS構造を有する素子分離ゾーン（図示せず）を形成する。そして、メモリ素子を形成すべき半導体基板10の領域にウエル（図示せず）を形成するためのイオン注入を行い、更には、メモリ素子を形成すべき半導体基板10の領域における閾値電圧調整のためのイオン注入を行う。その後、例えば熱酸化法により、厚さ7～8nm程度のSiO₂から成る第1の絶縁膜（トンネル絶縁膜）11を半導体基板10の表面に形成する。次いで、第1の絶縁膜11の上に、例えばCVD法に基づき、不純物を含有するポリシリコンから成る厚さ0.10μm乃至0.15μmの第1の材料層12Aを堆積させる。この状態を図4の（A）に示す。尚、従来のメモリ素子においては、電荷蓄積部12と対向する制御電極16の面積を増大させるために、0.25μm乃至0.30μmの第1の材料層12Aを堆積させる必要がある。一方、実施の形態1においては、後にシールド用導電層21を形成する結果、容量結合比の増加を図ることができるので、厚さ0.10μm乃至0.15μmの第1の材料層12Aを堆積させればよい。それ故、後述する【工程-120】における第1の材料層12Aのパターニングが困難となることが無いし、【工程-110】において、トレンチ状の溝部13A内を含む全面にSiO₂から成る絶縁材料14を堆積させる際に溝部13Aのアスペクト比の増加を招き、トレンチ型の素子分離領域の形成を一層困難なものにさせるといった問題の発生を回避することができる。

【0070】次に、第1の材料層12A上にレジスト材料から成るエッティング用マスク40をリソグラフィ技術に基づき形成し、かかるエッティング用マスク40を用いて、例えばRIE法により第1の材料層12Aをパターニングする。この状態を図4の（B）に示すが、パターニングされた第1の材料層12Aは、図4の（B）の紙面垂直方向に延びている。

【0071】【工程-110】次に、パターニングされた第1の材料層12Aによって被覆されていない半導体基板10の領域に、素子分離領域13を形成する。具体的には、図5の（A）に示すように、エッティング用マスク40及びパターニングされた第1の材料層12Aをエッティング用マスクとして用いて、例えばRIE法に基づきエッティングを引き続き行い、半導体基板10に溝部13Aを自己整合的に形成する。これによって、パターニングされた第1の材料層12Aの下方には、半導体基板10の突起部10Aが残される。次いで、エッティング用マスク40を除去し、例えばCVD法あるいはバイアスECR法に基づき、トレンチ状の溝部13A内を含む全面にSiO₂から成る厚さ0.7～1μmの絶縁材料1

4を堆積させる(図5の(B)参照)。その後、例えばRIE法に基づき絶縁材料14をエッチバックする。こうして、トレンチ状の溝部13Aに絶縁材料14が埋め込まれたトレンチ型の素子分離領域13を、パターニングされた第1の材料層12Aの間の半導体基板10の領域に自己整合的に形成することができる(図6の(A)及び(B)参照)。また、この状態における模式的な配置図を図7に示す。

[0072] [工程-120] 次に、全面に第2の絶縁膜15を堆積させた後、第2の材料層16Aを第2の絶縁膜15上に堆積させ、次いで、第2の材料層16A、第2の絶縁膜15及び第1の材料層12Aをパターニングし、以て、第2の材料層16Aから成る制御電極16及びワード線17、並びに、第1の材料層12Aから成る電荷蓄積部12を形成する。具体的には、図8に示すように、例えばCVD法あるいは熱酸化法により、ONO膜(酸化膜/窒化膜/酸化膜の積層絶縁膜)から成る第2の絶縁膜15を全面に堆積させる。第2の絶縁膜15の膜厚は、例えば14~18nmとすればよい。尚、図においては、第2の絶縁膜15を1層で表した。

[0073] その後、全面に、例えばCVD法に基づき、不純物を含有するポリシリコン(厚さ約0.1μm)及びタンクステンシリサイド(厚さ約0.1μm)の2層構成のポリサイドから成る第2の材料層16Aを堆積させる。この状態を図9の(A)及び(B)に示すが、図においては第2の材料層16Aを1層で表した。次に、リソグラフィ技術及びドライエッティング技術に基づき、第2の材料層16A、第2の絶縁膜15及び第1の材料層12Aをパターニングする。こうして、第2の材料層16Aから成る制御電極16及びワード線17、並びに、第1の材料層12Aから成る電荷蓄積部12を形成することができる。この状態を図10の(A)及び(B)に示す。尚、図10の(A)に示すように、電荷蓄積部12が、制御電極16と半導体基板10の突起部10Aとの重複領域に残され、個々のメモリ素子毎に分離された形状となる。

[0074] 以上の工程は、従来のSA-STI構造を有するメモリ素子の製造方法と同様の工程である。

[0075] [工程-130] 次に、制御電極16及びワード線17の延びる方向と平行な電荷蓄積部12の側壁面12B上に第3の絶縁膜20を介してシールド用導電層21を形成する。具体的には、先ず、全面に、ONO膜から成る第3の絶縁膜20をCVD法にて堆積させる(図11の(A)参照)。尚、第3の絶縁膜20の厚さは、第2の絶縁膜15の厚さと同程度とすることが望ましいが、第2の絶縁膜15の厚さよりも厚くともよい。その後、例えばCMP法に基づき、第3の絶縁膜20を研磨することによって、制御電極16の頂面上の第3の絶縁膜20を除去する(図11の(B)参照)。このとき、制御電極16の頂面が研磨のストップとして機

能する。次に、第3の絶縁膜20をRIE法に基づきエッチバックする。これによって、図12の(A)に示すように、制御電極16及びワード線17の延びる方向と平行な電荷蓄積部12の側壁面12B、及び制御電極16の側壁面16Bの一部(例えば制御電極16の厚さの約90%)を被覆するサイドウォール形状の第3の絶縁膜20を得ることができる。尚、制御電極16の頂面上の第3の絶縁膜20を除去してあるので、電荷蓄積部12の側壁面12B及び制御電極16の側壁面16Bの一部を被覆する第3の絶縁膜20を、確実に自己整合的に得ることができる。

[0076] その後、導電体である、不純物を含有した厚さ0.1~0.3μmの第3の材料層21AをCVD法にて全面に堆積させた後(図12の(B)参照)、第3の材料層21Aをエッチバックする(図13の(A)参照)。これによって、第3の絶縁膜20で被覆されていない制御電極16の側壁面16Bまで延在し、第3の材料層21Aから成り、制御電極16と接続されたシールド用導電層21を得ることができる。断面形状がサイドウォール形状のシールド用導電層21の底部の厚さは特に制限が無く、隣接するシールド用導電層21と接しない(電気的に接続していない)厚さであればよい。尚、シールド用導電層21の底面と半導体基板10との間には第1の絶縁膜11が存在するので、シールド用導電層21と半導体基板10とが短絡することはない。

[0077] [工程-140] 次に、電荷蓄積部12の下方の半導体基板10に形成されたチャネル形成領域19から延在する半導体基板10の領域にソース/ドレイン領域18を形成する。具体的には、制御電極16をマスクとして用いて、不純物を例えば $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ のドーズ量で半導体基板10の露出した突起部10Aにイオン注入する。これによって、制御電極16の両側の半導体基板10の突起部10Aの一部分にソース/ドレイン領域18を自己整合的に形成することができる(図13の(B)参照)。その後、例えばCVD法によりPSGあるいはBPSG等から成る層間絶縁層30を形成し、図1及び図2に示したメモリ素子を得ることができる。以降の工程としては、例えば、ソース/ドレイン領域18の上方の層間絶縁層30に開口部を形成し、かかる開口部内を含む層間絶縁層30上に配線材料層を堆積させ、配線材料層をパターニングすることによってピット線を設ける。更に、周辺回路の形成等により所望のメモリセルを完成させる。

[0078] 尚、[工程-120]と[工程-130]との間において、制御電極16をマスクとして用いて、低濃度(例えば、ドーズ量 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$)の不純物を半導体基板10の露出した突起部10Aにイオン注入し(図14の(A)参照)、[工程-140]において、高濃度(例えば、ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)の不純物を半導体基板10の露出した突起部10Aにイオン

注入することもできる（図14の（B）参照）。これによつて、LDD（Lightly Doped Drain）構造を有するソース／ドレイン領域18を形成することができる。

【0079】あるいは又、【工程-120】と【工程-130】との間において、制御電極16をマスクとして用いて、不純物を半導体基板10の露出した突起部10Aにイオン注入し、半導体基板10の露出した突起部10Aにソース／ドレイン領域18を形成し、【工程-140】におけるソース／ドレイン領域形成のためのイオン注入を省略することもでき、かかる製造方法も本発明の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法に包含される。

【0080】実施の形態1における電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法においては、制御電極16と半導体基板10に形成されたチャネル形成領域19との間に、絶縁膜11、12、20によって被覆された浮遊電極である電荷蓄積部12を有する電界効果型トランジスタタイプのメモリ素子を形成することができる。しかも、制御電極16及びワード線17の延びる方向と平行な電荷蓄積部12の側壁面12B上に第3の絶縁膜20を介して形成され、制御電極16と同電位に保持されたシールド用導電層21が形成されるので、容量結合比を従来のメモリ素子よりも大きくすることが可能となり、動作電圧及び電源電圧を低下させることができるばかりか、昇圧回路の面積増加や昇圧時間の増大の抑制が可能であり、メモリ素子の高集積化、微細化をすることが可能となる。また、SA-STI法によって素子分離領域13を形成するので、LOCOS構造を有する素子分離領域よりもセル面積を縮小することが可能となる。

【0081】（実施の形態2）実施の形態2は、実施の形態1において説明した電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法の変形である。実施の形態2にて製造されるメモリ素子の構造は、実質的に、実施の形態1にて説明したメモリ素子の構造と同じである。但し、実施の形態2のメモリ素子においては、第3の絶縁膜20がソース／ドレイン領域18の上方まで延在している点が、実施の形態1のメモリ素子と相違する。

【0082】以下、半導体基板等の模式的な一部断面図である図15～図17を参照して、実施の形態2における電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法を説明する。尚、図15～図17は、図2の矢印A-Aに沿つたと同様の半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【0083】【工程-200】実施の形態1の【工程-100】～【工程-120】を実行する。即ち、半導体基板10の表面に第1の絶縁膜11を形成した後、第1の絶縁膜11上に第1の材料層12Aを堆積させ、次いで、第1の材料層12Aをパターニングする。次いで、パターニングされた第1の材料層12Aによって被覆されていない半導体基板10の領域に、SA-STI構造を有する素子分離領域13を形成する。次に、全面に第

2の絶縁膜15を堆積させた後、第2の材料層16Aを第2の絶縁膜15上に堆積させ、次いで、第2の材料層16A、第2の絶縁膜15及び第1の材料層12Aをパターニングする。これによつて、第2の材料層16Aから成る制御電極16及びワード線17、並びに、第1の材料層12Aから成る電荷蓄積部12を形成することができる（図10の（A）及び（B）参照）。

【0084】【工程-210】次に、制御電極16及びワード線17の延びる方向と平行な電荷蓄積部12の側壁面12B上に第3の絶縁膜20を介してシールド用導電層21を形成する。実施の形態2においては、先ず、全面にSiO₂から成る第3の絶縁膜20をCVD法にて堆積させる（図15の（A）参照）。次いで、第3の絶縁膜20上に、スピンドルコート法にてレジスト材料から成る第4の材料層50を堆積させる（図15の（B）参照）。第4の材料層50の厚さは、制御電極16の頂面に形成された第3の絶縁膜20を十分に被覆する厚さとする。

【0085】その後、第4の材料層50及び第3の絶縁膜20を部分的に除去した後、第3の絶縁膜20をエッチバックすることによって、少なくとも制御電極16の頂面を露出させる（図16の（A）参照）。第4の材料層50及び第3の絶縁膜20の部分的な除去は、RIE法に基づき第4の材料層50及び第3の絶縁膜20を同時にエッチバックしてもよいし、第4の材料層50をエッチバックした後、第3の絶縁膜20をエッチバックしてもよい。更には、第4の材料層50をエッチバックした後、第3の絶縁膜20をCMP法に基づき部分的に研磨することで第3の絶縁膜20を部分的に除去してもよく、これによつて、制御電極16の頂面上の第3の絶縁膜20が除去される。実施の形態2においては、電荷蓄積部12の側壁面12Bの全て、及び制御電極16の側壁面16Bの一部を被覆し、且つ、半導体基板10（より具体的には、突起部10A）の上方まで延在する第3の絶縁膜が得られるように、第3の絶縁膜をエッチバックする。次いで、アッショング処理を行うことによって、レジスト材料から成る第4の材料層50を除去する（図16の（B）参照）。尚、使用する第4の材料層の材料によっては、ドライエッチングやウェットエッチングによって第4の材料層を除去する。

【0086】【工程-220】次に、露出した制御電極16の表面に存在する自然酸化膜を除去するために、希フッ酸を用いて、露出した制御電極16の表面洗浄を行う。その後、実施の形態1の【工程-130】と同様に、導電体から成る第3の材料層21Aを全面に堆積させた後、第3の材料層21Aをエッチバックする。即ち、導電体である、不純物を含有した厚さ0.1～0.3μmの第3の材料層21AをCVD法にて全面に堆積させた後（図17の（A）参照）、第3の材料層21Aをエッチバックする（図17の（B）参照）。これによ

って、第3の絶縁膜20で被覆されていない制御電極16の側壁面16Bまで延在し、第3の材料層21Aから成り、制御電極16と接続されたシールド用導電層21を得ることができる。

【0087】[工程-230]以降、実施の形態1の[工程-140]を実行することによって、所望のメモリセルを完成させる。

【0088】尚、[工程-210]の前に、制御電極16をマスクとして用いて、低濃度(例えば、ドーズ量 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$)の不純物を半導体基板10の露出した突起部10Aにイオン注入し、[工程-230]において、高濃度(例えば、ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)の不純物を半導体基板10の露出した突起部10Aにイオン注入することもできる。これによって、LDD構造を有するソース/ドレイン領域18を形成することができる。

【0089】あるいは又、[工程-210]の前に、制御電極16をマスクとして用いて、不純物を半導体基板10の露出した突起部10Aにイオン注入し、半導体基板10の露出した突起部10Aにソース/ドレイン領域18を形成し、[工程-230]におけるソース/ドレイン領域形成のためのイオン注入を省略することもでき、かかる製造方法も本発明の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法に包含される。

【0090】実施の形態1の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法においては、[工程-130]において、第3の絶縁膜20をRIE法に基づきエッチバックしたとき、第1の絶縁膜11が同時にエッティングされる虞が皆無とは云えない。また、第3の材料層21AをCVD法にて全面に堆積させる前に、制御電極16上の自然酸化膜の除去のためにフッ酸洗浄を行うことが好ましいが、このフッ酸洗浄によつても、第1の絶縁膜11が同時にエッティングされる虞が皆無とは云えない。第1の絶縁膜11がエッティングされて消失した場合、第3の材料層21Aとソース/ドレイン領域18とが短絡する。従つて、このような問題が発生することを防止するために、第1の絶縁膜11の膜厚を或る程度厚くする必要がある場合がある。然るに、第1の絶縁膜11の膜厚を厚くした場合、シールド用導電層21と電荷蓄積部12との間の結合容量の低下を招く。一方、実施の形態2の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法においては、ソース/ドレイン領域18の上方に第3の絶縁膜20が残されるので、第3の材料層21Aとソース/ドレイン領域18とが短絡するといった問題の発生を確実に防止することができ、しかも、第3の絶縁膜20の膜厚を薄くすることができる。

【0091】以上、本発明を、発明の実施の形態に基づき説明したが、本発明はこれらに限定されるものではない。発明の実施の形態においては、専ら、浮遊電極型メモリ素子を例にとり説明を行つたが、電荷蓄積部の形態

は浮遊電極型に限定されず、図26に模式的な一部断面図を示すように、ナノクリスタル型メモリ素子とすることもできる。ナノクリスタル型の電荷蓄積部は、チャネル形成領域19上に形成された第1の絶縁膜(トンネル絶縁膜)11の上に形成された絶縁層61、及び、絶縁層61中に形成された導電性微小結晶粒子60から構成されている。導電性微小結晶粒子60はSiから構成されており、半球状である。ナノクリスタル型メモリ素子の詳細に関しては、例えば、文献 "Volatile and Non-Volatile Memories in Silicon with Nano-Crystal Storage", Sandip Tiwari, et al., IEDM 95, pp521-524 (20.4.1-20.4.4)、あるいは、文献 "Fast and Long Retention-Time Nano-Crystal Memory", H.I. Hanafi, et al., IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, Vol. 43, No. 9, September 1996, pp1554-1558を参照されたい。

【0092】また、素子分離領域の構造は、SA-STI構造に限定されず、通常のトレンチ構造、LOCOS構造とすることもできる。また、半導体基板表面に第1の絶縁膜を形成する前に素子分離領域の形成を行つてもよく、かかる製造方法も本発明の電気的書き換えが可能なメモリ素子の製造方法に包含される。発明の実施の形態にて説明した各種の材料や膜厚等も例示であり、適宜変更することができる。図27に模式的な一部断面図を示すように、電荷蓄積部12は、チャネル形成領域19の上方のみならず、素子分離領域13上に形成された構造とすることもできる。尚、図27は図2の矢印A-Aに沿つたと同様の模式的な一部断面図である。図27に示した電荷蓄積部12の構造は、例えば、[工程-110]に引き続き、不純物を含有するポリシリコン層12DをCVD法にて全面に堆積させた後、かかるポリシリコン層12Dをエッチバックすることによって得ることができます。

【0093】

【発明の効果】本発明においては、シールド用導電層を設けることによって、容量結合比の増加を図り、しかも、電荷蓄積部とソース/ドレイン領域との間の容量結合による容量結合比の減少を防止することができる。その結果、動作電圧の低下及び昇圧時間の短縮、製造コストの低減、メモリ素子の高集積化、微細化をすることができる。しかも、従来の技術と異なり、十分な容量結合比を得るために電荷蓄積部の厚さを厚くする必要が無くなり、従来のメモリ素子の製造プロセスにおける問題点を確実に解決することが可能となる。また、メモリ素子を微細化したとき、電荷蓄積部とソース/ドレイン領域との間の結合容量等の寄生容量が大きいと、メモリ素子へのデータの書き込み速度が低下する虞があるが、シールド用導電層を設けることによって寄生容量の低減を図ることができること、メモリ素子へのデータの書き込み速度が低下することを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のメモリ素子の模式的な一部断面図である。

【図2】本発明のメモリ素子の模式的な配置図である。

【図3】NAND型メモリセル及びNOR型メモリセルの等価回路を示す図である。

【図4】発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図5】図4に引き続き、発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図6】図5に引き続き、発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図7】図6に示した状態における模式的な配置図である。

【図8】図6に引き続き、発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図9】図8に引き続き、発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図10】図9に引き続き、発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図11】図10に引き続き、発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図12】図11に引き続き、発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図13】図12に引き続き、発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図14】発明の実施の形態1におけるメモリ素子の製造方法の変形例を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図15】発明の実施の形態2におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図16】図15に引き続き、発明の実施の形態2におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板

等の模式的な一部断面図である。

【図17】図16に引き続き、発明の実施の形態2におけるメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図18】従来のメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図19】図18に引き続き、従来のメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図20】図19に引き続き、従来のメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図21】従来のNANDストリング型メモリセルの模式的な一部断面図である。

【図22】メモリ素子の閾値電圧V_{th}の分布を模式的に示す図である。

【図23】従来のSA-STI法に基づくメモリ素子の模式的な一部断面図である。

【図24】図23に示した従来のSA-STI法に基づくメモリ素子の模式的な配置図である。

【図25】従来のSA-STI法に基づくメモリ素子の製造方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図26】ナノクリスタル型メモリ素子の模式的な一部断面図である。

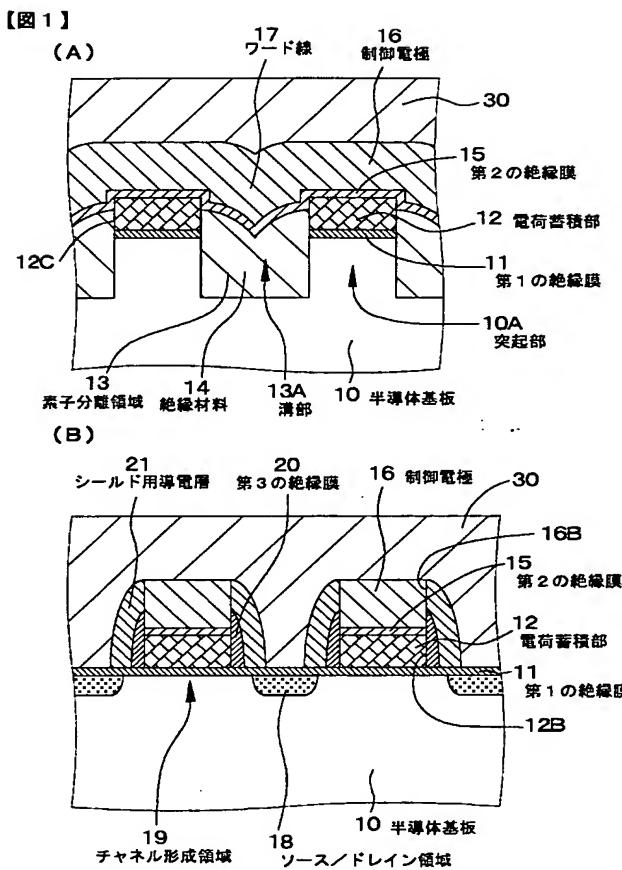
【図27】電荷蓄積部が素子分離領域上まで延びる構造を有する本発明のメモリ素子の模式的な一部断面図である。

【符号の説明】

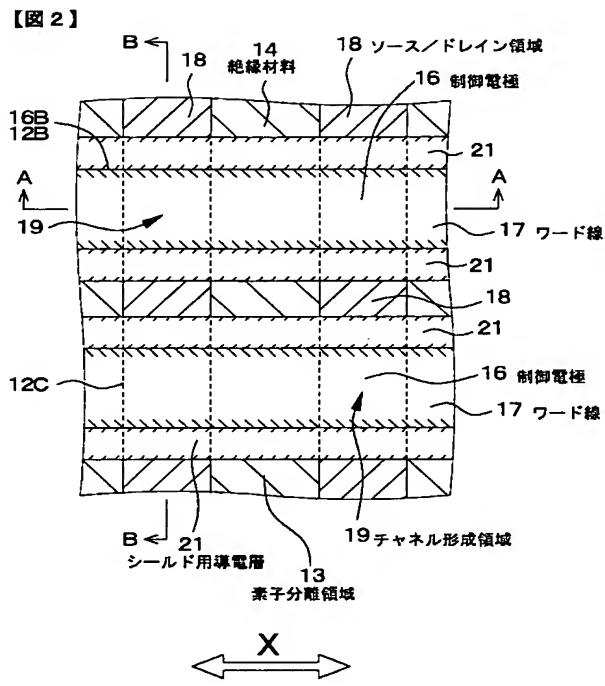
10 10・・・半導体基板、10A・・・半導体基板の突起部、11・・・第1の絶縁膜、12・・・電荷蓄積部、12A・・・第1の材料層、12B、12C・・・電荷蓄積部の側壁面、13・・・素子分離領域、13A・・・溝部、14・・・絶縁材料、15・・・第2の絶縁膜、16・・・制御電極、16A・・・第2の材料層、16B・・・制御電極の側壁面、17・・・ワード線、18・・・ソース／ドレイン領域、19・・・チャネル形成領域、20・・・第3の絶縁膜、21・・・シールド用導電層、21A・・・第3の材料層、30・・・層間絶縁層、40・・・エッチング用マスク、50・・・第4の材料層、60・・・導電性微小結晶粒子、61・・・絶縁層61

20 40

【図1】



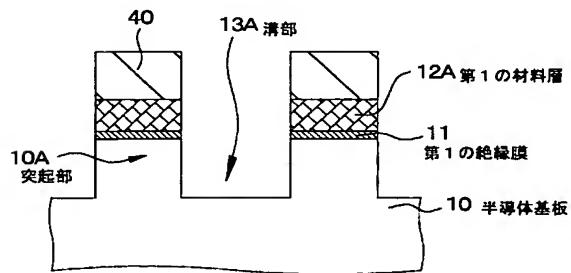
【図2】



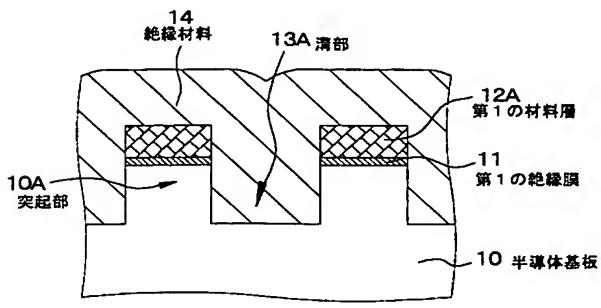
【図5】

【図5】

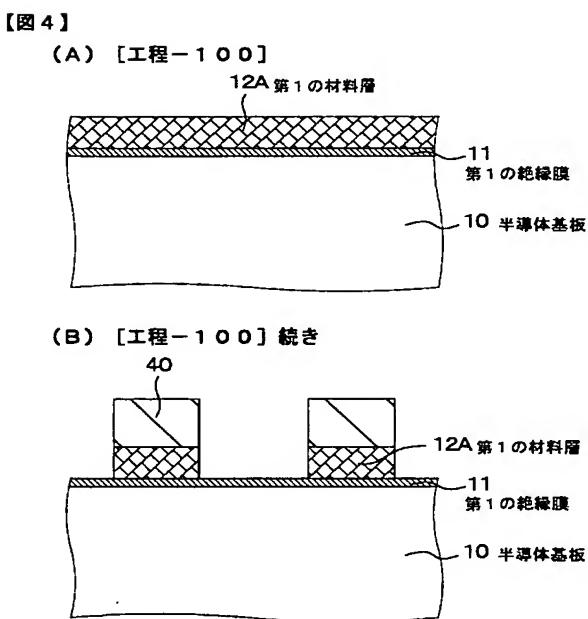
(A) [工程-110]



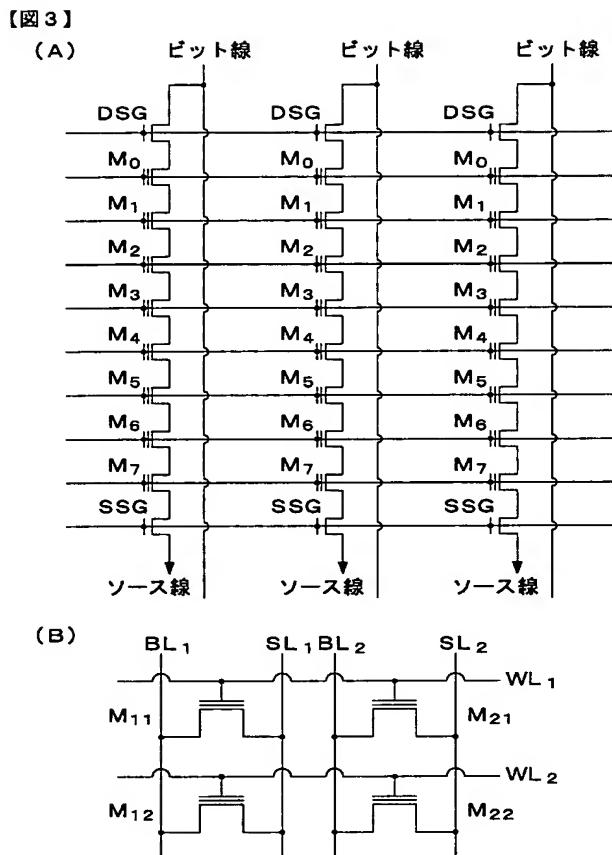
(B) [工程-110] 続き



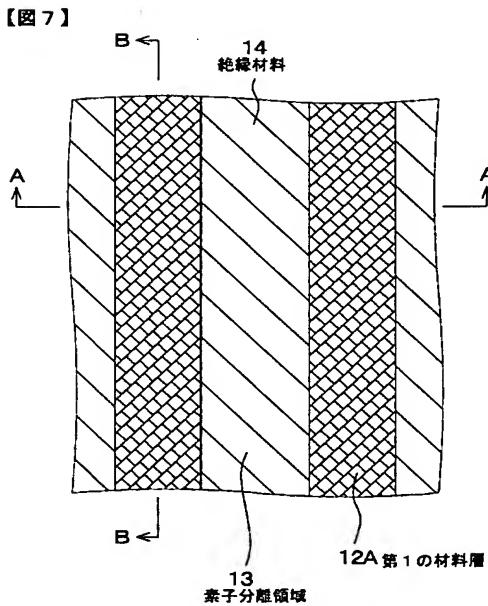
【図4】



【図3】

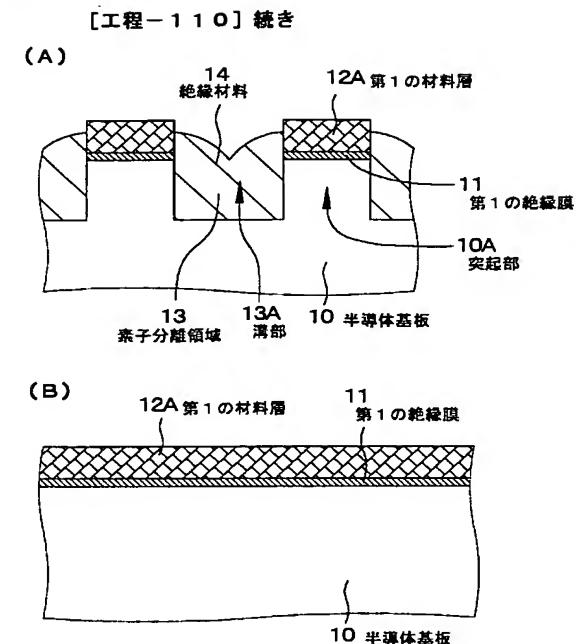


【図7】



【図6】

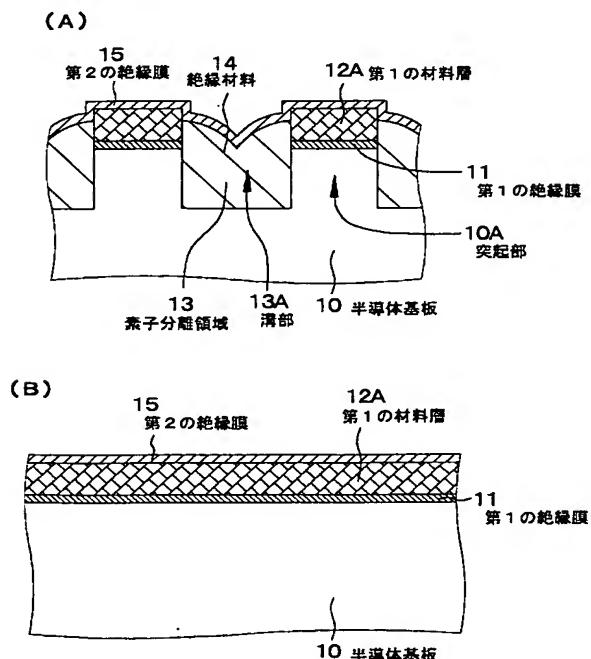
【図6】



【図8】

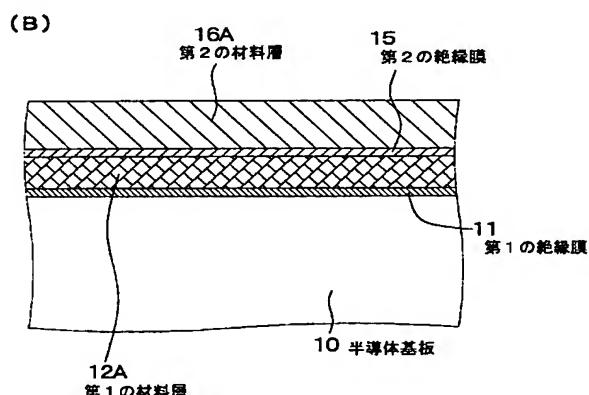
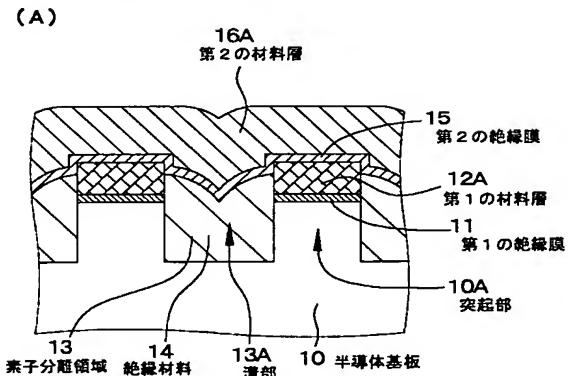
【図8】

【工程-120】



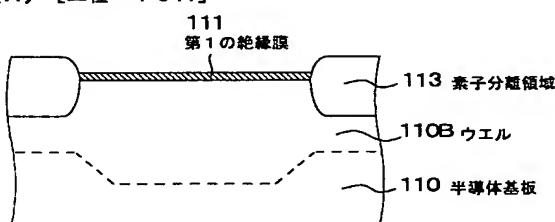
【図9】

【図9】
[工程-120] 続き

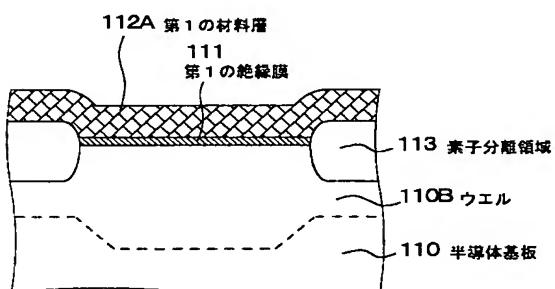


【図18】

【図18】
〔A〕 [工程-10A]

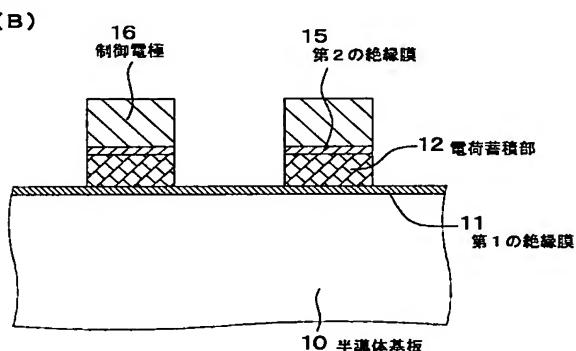
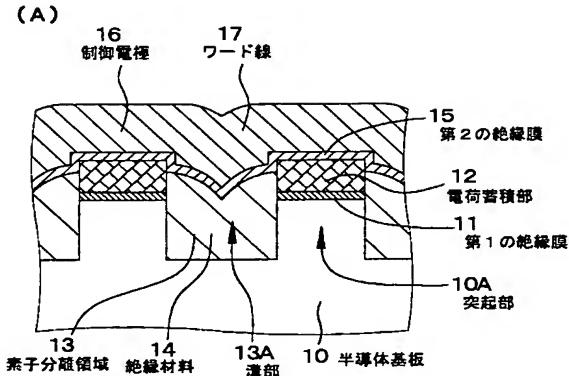


〔B〕 [工程-20A]



【図10】

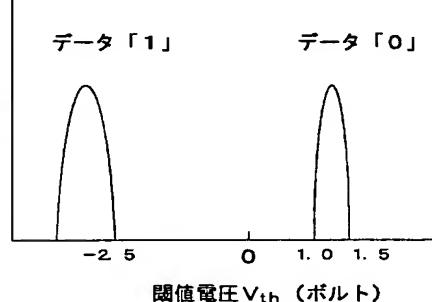
【図10】
[工程-120] 続き



【図22】

【図22】

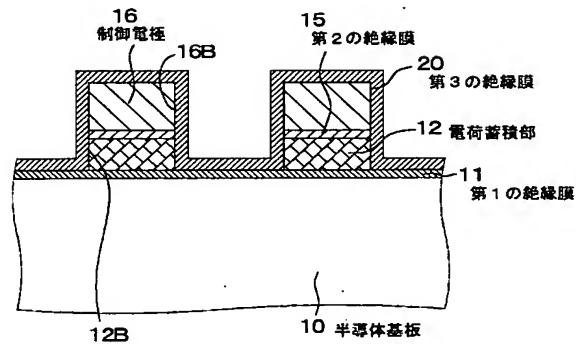
所望の閾値電圧を有する
メモリ素子の個数
(単位: 任意)



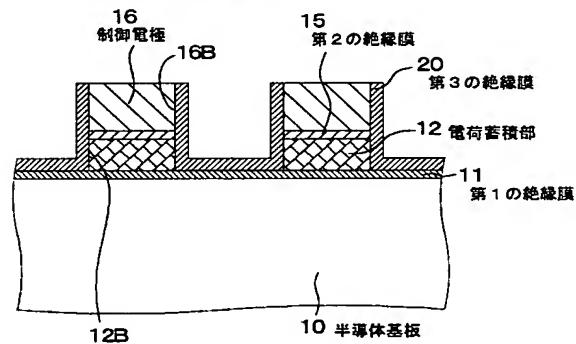
【図11】

【図11】

(A) [工程-130]



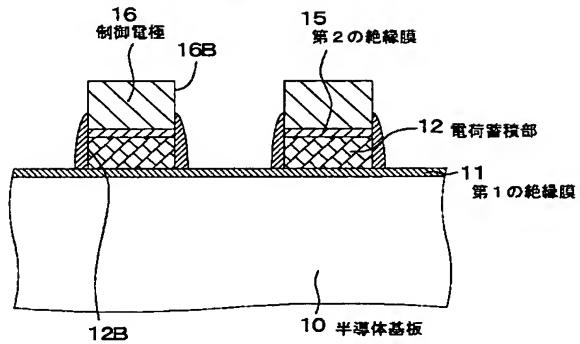
(B) [工程-130] 続き



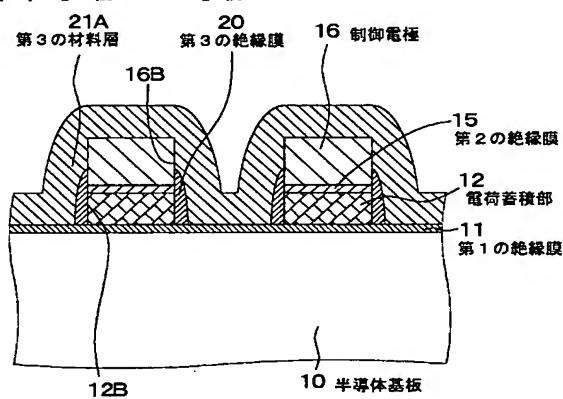
【図12】

【図12】

(A) [工程-130] 続き

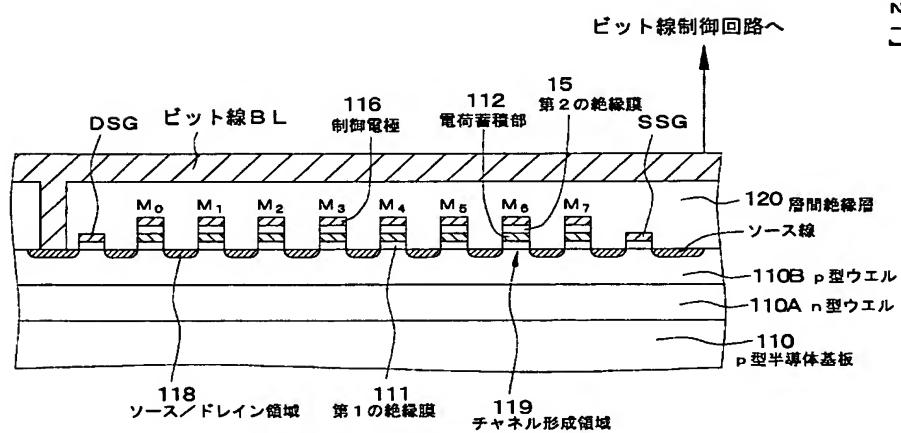


(B) [工程-130] 続き



【図21】

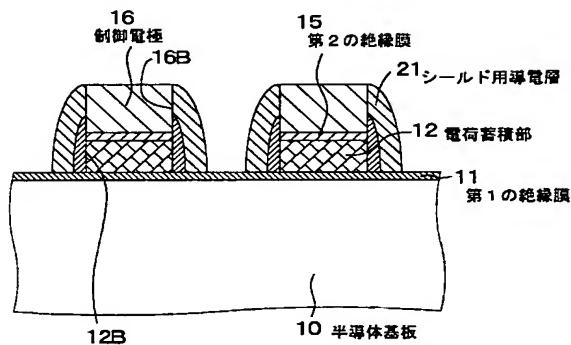
【図21】



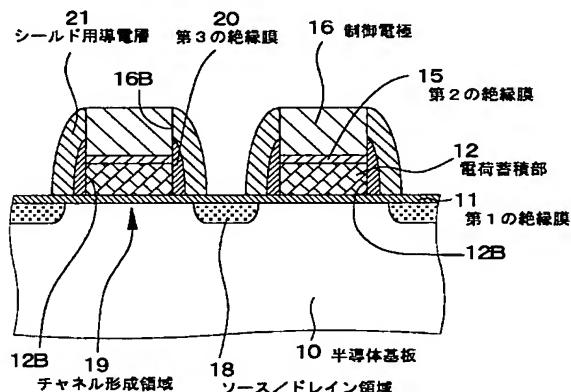
【図 13】

【図 13】

(A) [工程-130] 続き

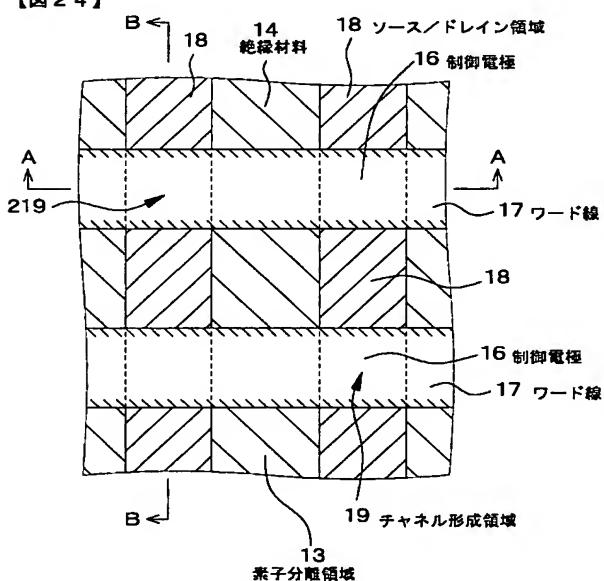


(B) [工程-140]



【図 24】

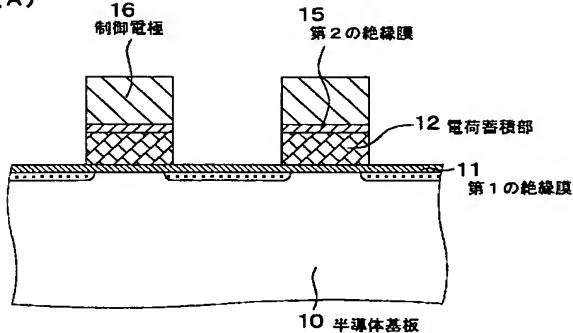
【図 24】



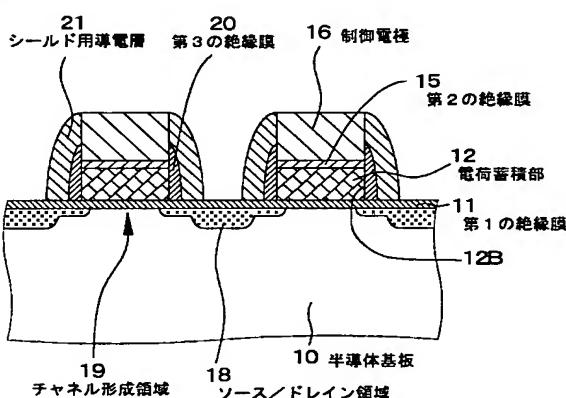
【図 14】

【図 14】

(A)

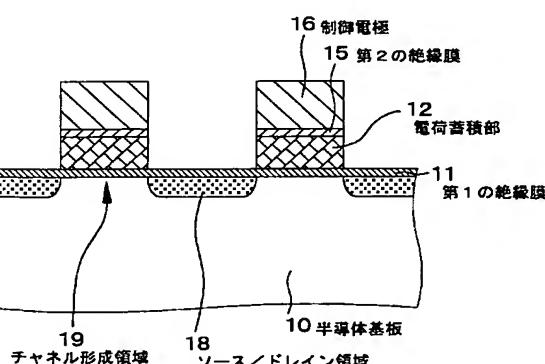


(B)



【図 25】

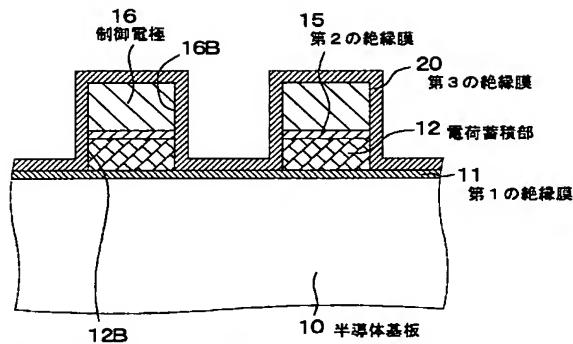
【図 25】



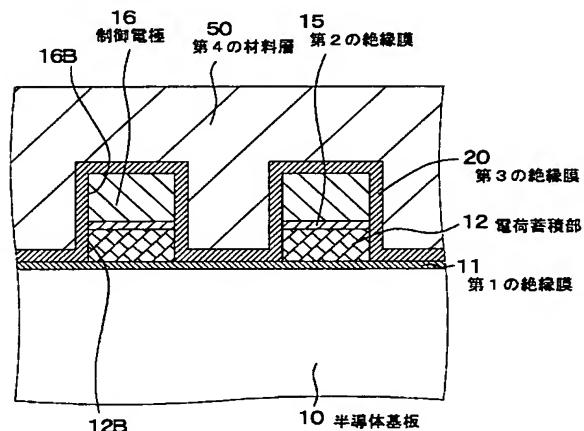
【図15】

【図15】

(A) [工程-210]



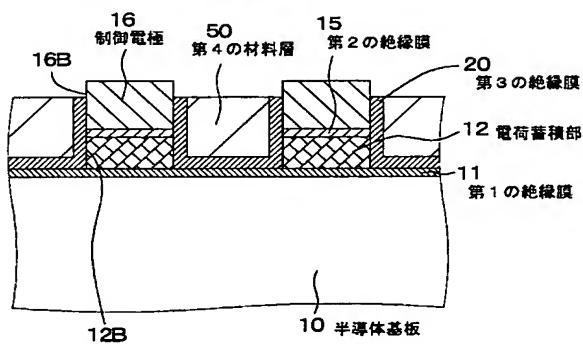
(B) [工程-210] 続き



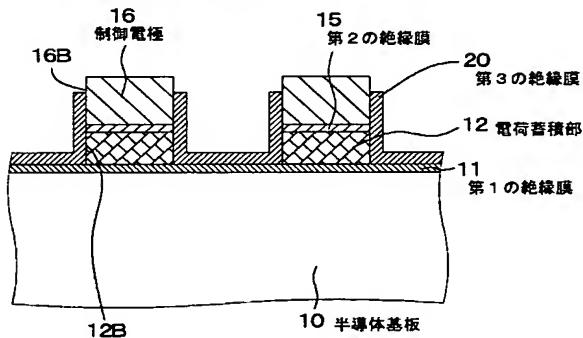
【図16】

【図16】

(A) [工程-210] 続き

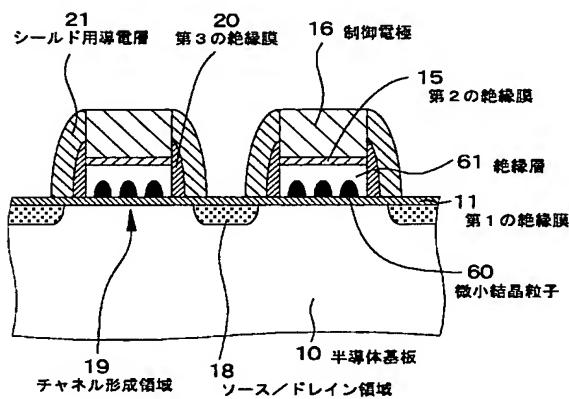


(B) [工程-210] 続き



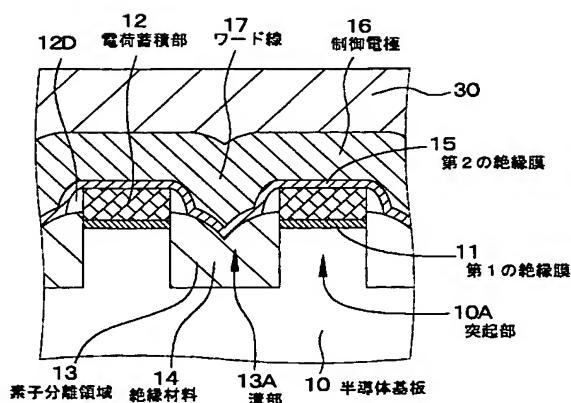
【図26】

【図26】



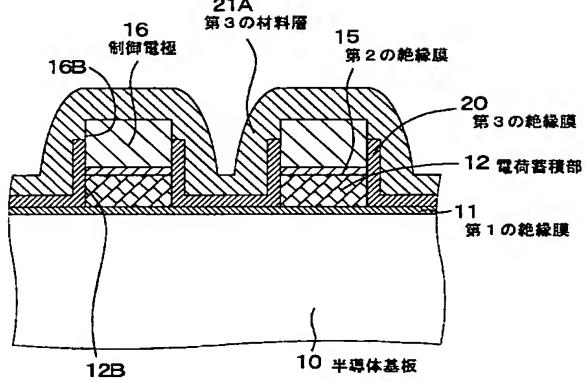
【図27】

【図27】

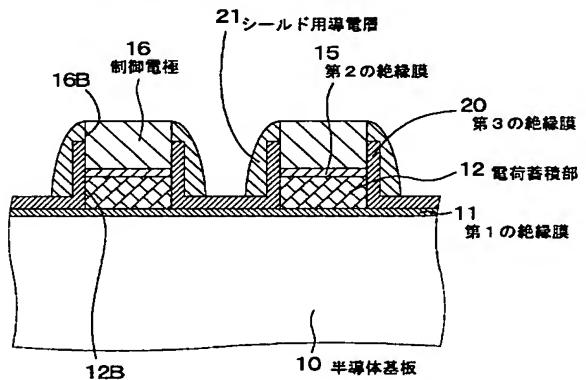


【図17】

【図17】
(A) [工程-220]

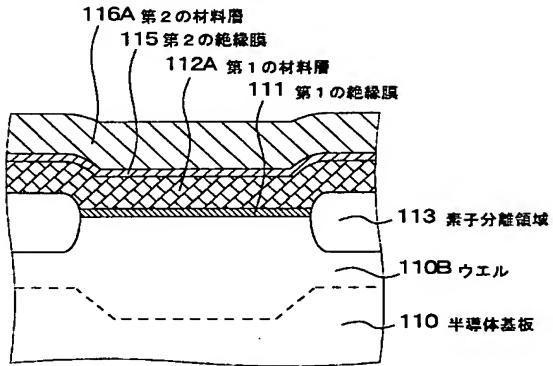


(B) [工程-220]

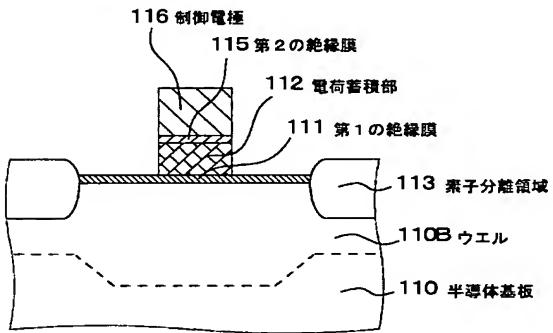


【図19】

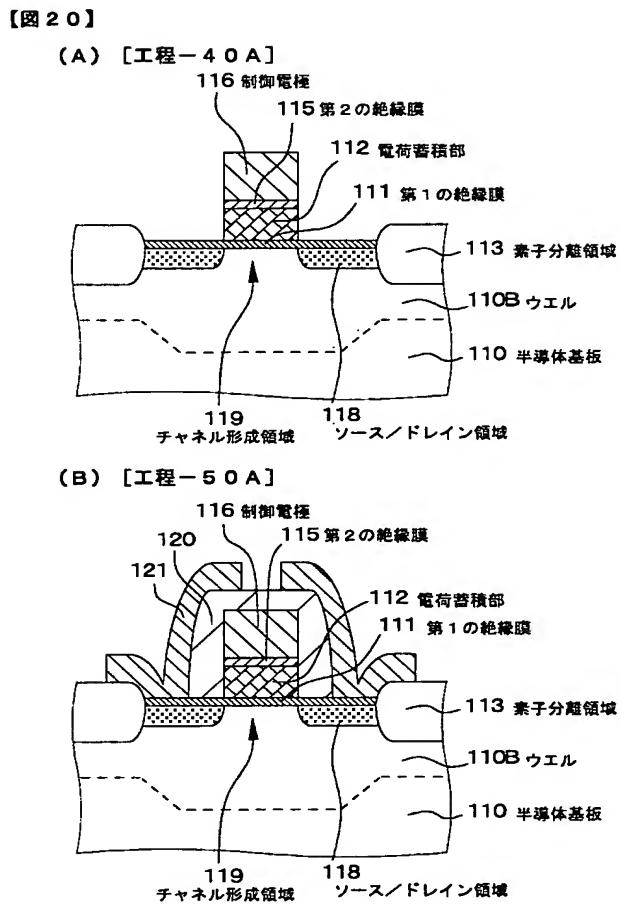
【図19】
(A) [工程-30A]



(B) [工程-30A] 続き



【図20】



【図23】

